

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

FERRAMENTAS PARA O PROJETO ERGONÔMICO DE
PRODUTOS : ANÁLISE E SELEÇÃO PARA O USO

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA
CATARINA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
ENGENHARIA

ANTONIO ERLINDO BRAGA JÚNIOR



0.247.387-2

UFSC-BU

Florianópolis, Março de 1996
Santa Catarina - Brasil

**FERRAMENTAS PARA O PROJETO ERGONÔMICO DE
PRODUTOS : ANÁLISE E SELEÇÃO PARA O USO**

ANTONIO ERLINDO BRAGA JÚNIOR

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de :

MESTRE EM ENGENHARIA

Especialidade em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final
pelo Programa de Pós-Graduação.



Prof. Ricardo M. Barcia, Dr.
Coordenador do Programa

BANCA EXAMINADORA



Profa. Ingeborg Sell, Dr. rer. nat.
Orientadora



Profa. Leila Amaral Gontijo, Dr.Eng.



Prof. Nelson Back, Ph.D.

Toada do Adeus

Maestro Waldemar Henrique

Mangueira de sombra amiga
Acalenta os sonhos meus,
Escuta a minha cantiga,
Espalha ao vento este adeus !

Diz à terra quanto a quis
E ao povo, quanto o amei,
Belém, meu porto feliz,
Pensando em ti, morrerei !

Dedico este trabalho a meus pais, que me ensinaram como procurar a felicidade, e à Ana, que me mostrou onde ela está.

Agradecimentos

A Deus pela perseverança e saúde que me foram dadas e pela Sua companhia em todos os momentos.

À minha família, à Ana e a meus amigos que mesmo à distância souberam estar presentes de uma forma ou de outra.

À Profa. Ingeborg pelo apoio, orientação e conhecimentos que me foram dispensados.

A todos os colegas de curso, em especial aos amigos Carlos Alvarado e Antonio Fonseca pelo companheirismo e pela troca de experiências.

Ao Prof. Luis Rodriguez Morales, da Universidad Iberoamericana do México, pela revisão do trabalho.

Aos amigos Roger e Beverley Moeller pela ajuda.

À Sra. Marjorie Henderson, funcionária da Erik Jonhson School of Engineering and Computer Science / University of Texas at Dallas e ao Sr. Paul Kline, pesquisador da University of Central Florida, e à Ana pela ajuda na procura de material para este trabalho.

À sociedade brasileira, através do PICD/CAPES, e a meus pais pelo apoio financeiro.

Resumo

A crescente competitividade atual faz com que os produtos presentes no mercado tragam características diferenciadoras. A configuração ergonômica de produtos é uma maneira usada por empresas para alcançar este objetivo. Esta configuração é conseguida através do uso de metodologias de projeto de produtos desenvolvidas para este fim. Porém, para assegurar que os procedimentos propostos nas metodologias sejam conseguidos e realizados com qualidade, é necessário utilizar alguns recursos.

Neste trabalho, estes recursos foram denominados de ferramentas para o projeto ergonômico de produtos. Aqui, as diversas ferramentas disponíveis são descritas e analisadas, apresentando-se as suas características e limitações, assim como, a etapa, ou etapas, do projeto onde a sua utilização é mais eficaz.

Apresenta-se, também, os critérios para a escolha de ferramentas para o uso, e sugestões para o desenvolvimento de novas ferramentas. Estes critérios foram desenvolvidos para que a equipe fundamente de maneira adequada a sua escolha e para que sejam evitados problemas de uma possível má utilização. As sugestões para o desenvolvimento de novas ferramentas surgem de necessidades observadas no processo de projeto.

Abstract

The current growing competitiveness forces the present products in the market to bring in differentiating features. The ergonomic configuration of consumer products is a form used by companies to meet this objective; this configuration is achieved by using product design methodologies developed for this purpose. However, to assure that the proposed procedures are achieved and accomplished with quality, it is necessary to use some resources.

In this work, these resources were denominated tools for the ergonomic design of products. Here, the diverse tools available are described and analyzed, presenting their features and limitations, like for example, the stage, or stages of the project where its utilization is more efficient.

Also, the criteria for choosing the tools to be used, and suggestions for the development of new tools are presented. These criteria were developed so that the design team can base their choice in a correct manner and so that problems of mis use can be avoided. The suggestions for the development of new tools emerge from the necessities observed in the process of the project.

Sumário

Capítulo I - Introdução	1
1.1 Objetivos	7
1.2 Justificativa	8
1.3 Hipótese	8
1.4 Metodologia	8
1.5 Estrutura do trabalho	9
 Capítulo II - O Processo de Projeto Ergonômico de Produtos	 11
2.1 Considerações Gerais	11
2.2 O Processo de Planejamento e Desenvolvimento de Produtos Proposto por Sell	14
2.2.1 Planejamento de Produtos	15
2.2.2 Desenvolvimento de Produtos	20
2.2.2.1 Clarificação da Tarefa de Desenvolvimento ..	20
2.2.2.2 Concepção	25
2.2.2.3 Projeto Preliminar	31
2.2.2.4 Projeto Detalhado	35
 Capítulo III - Descrição e Análise das Ferramentas para o Projeto Ergonômico de Produtos	 40
3.1 Introdução	40
3.2 Ferramentas para o Planejamento de Produtos	44
3.2.1 Exemplo de Ferramenta para o Planejamento de Produtos	54
3.3 Diretrizes de Projeto	57
3.3.1 Normas	59

3.3.2 Dados Antropométricos	61
3.3.3 Recomendações para o Projeto	64
3.3.4 Exemplos de Ferramentas Utilizadas como Diretrizes de Projeto	67
3.4 Ferramentas para Teste e Refinamento	70
3.4.1 Ferramentas Não Computacionais	72
3.4.2 Ferramentas Computacionais	76
3.4.3 Exemplos de Ferramentas para o Teste e Refinamento	87
3.5 Utilização das Ferramentas nas Etapas da Metodologia de Projeto Ergonômico de Produtos	89

Capítulo IV - Seleção de Ferramentas para a Utilização no Projeto

Ergonômico de Produtos e Propostas para o Desenvolvimento de Novas

Ferramentas	93
4.1 Introdução	93
4.2 Seleção de Ferramentas para o Projeto Ergonômico	94
4.2.1 Facilidade de Uso e Aprendizagem	95
4.2.2 Compatibilidade com os Dados Disponíveis	97
4.2.3 Satisfação com a Informação e com os Dados Fornecidos	98
4.2.4 Versatilidade na Aplicação	100
4.2.5 Custo de Aquisição, Operação e Manutenção	101
4.2.6 Forma de Trabalho	101
4.2.7 Recomendações para a Seleção	103
4.2.7.1 Critérios Principais e Critérios Secundários	104
4.2.7.2 Processo de Escolha	105
4.2.7.3 Exemplo de Escolha de Ferramenta	106

4.3 Propostas para o Desenvolvimento de Novas Ferramentas	108
4.3.1 Requisitos para Ferramentas a serem Utilizadas no Planejamento de Produtos	110
4.3.2 Requisitos para Ferramentas a serem Utilizadas no Desenvolvimento de Produtos	111
Capítulo V - Conclusões e Recomendações	114
Anexos	118
Referências Bibliográficas	125
Bibliografia	128

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

A globalização da economia traz, cada vez mais, a aproximação dos mercados. A criação de blocos de países e a interação entre estes grupos permite uma concorrência ainda maior entre produtos similares. Esta concorrência tem se tornado acirrada devido à necessidade das empresas de conquistar maiores fatias do mercado consumidor, para que seja garantido o seu lucro e a sua sobrevivência. Para conseguir este objetivo, as empresas têm buscado diferenciar seus produtos dos demais concorrentes. A configuração ergonômica dos produtos é uma forma usada para tal finalidade.

Deste modo, a Ergonomia tem auxiliado as empresas na conquista e manutenção de mercados. Produtos ergonomicamente projetados devem permitir o seu uso por pessoas dos mais diversos níveis culturais, idades, capacidades física e mental, tamanho do corpo, força física, mobilidade, habilidades lingüísticas e até mesmo paciência. Não deverão funcionar apenas "em princípio" (quando usado por pessoas treinadas e em situações controladas), mas também no dia-a-dia, onde o uso será realizado por uma variedade de pessoas nas mais diversas situações. O papel da equipe de projeto é tornar esta distância entre o funcionamento "em princípio" e no dia-a-dia a menor possível.

Para Sell (1989 b) o projeto ergonômico é aquele que cria produtos que possuam efeitos desejáveis e não os indesejáveis sobre as pessoas em contato direto (operador ou usuário), ou contato indireto (outras pessoas). Os efeitos desejáveis são os que permitem uma maior adequação do produto ao homem, como por exemplo : necessidade de pouco tempo de treinamento, fácil manuseio, segurança, promoção do desenvolvimento de capacidades, habilidades e aptidões das pessoas, etc.. Os efeitos indesejáveis são aqueles que agredem de alguma forma o usuário (ou terceiros) ou que impedem que a tarefa seja realizada como desejado. Os efeitos indesejados podem ser : as solicitações físicas e psíquicas extremas, a fadiga exagerada, os danos à saúde, etc..

Na tentativa de gerar produtos ergonomicamente projetados, a evolução histórica (segundo Saric, 1979), ocorreu, com a Ergonomia se restringindo inicialmente à fase final do projeto tratando somente dos comandos, controles e painéis que o usuário utilizava para operar o produto, além de procurar otimizar fatores ambientais como temperatura, ruídos, etc.. O ergonômista não tinha introspecção nos complexos problemas envolvidos no trabalho de desenvolvimento técnico.

Contudo, com a experiência adquirida ao longo dos anos tornou-se claro para os especialistas em Ergonomia que outros elementos necessitavam de uma intervenção ergonômica. Foram identificados inúmeros problemas os quais eram, basicamente, de natureza ergonômica, mas que eram tradicionalmente resolvidos pelos projetistas, que tinham uma formação técnica não adequada para este fim. Simultaneamente a este fato, foi identificado que o conhecimento

acumulado sobre o desenvolvimento de complexos sistemas era inadequado. Em função disto, foram realizados estudos com análises e experimentações sobre o conceito de sistema e o processo de desenvolvimento de produtos.

Os resultados destes estudos foram teorias sobre o homem e sua relação com sistemas, e a partir disso tornou-se claro que era necessário desenvolver uma teoria para o processo de desenvolvimento de produtos. A partir destes conhecimentos a Ergonomia começou a adquirir o status formal de uma tecnologia.

O estado atual é caracterizado por esforços para aplicar os conhecimentos adquiridos em situações práticas, também em estágios mais iniciais do processo de projeto. Estes esforços são pesquisas que apresentam propostas para a incorporação de aspectos ergonômicos no processo de projeto do produto.

Na literatura existem diversas metodologias para o planejamento e desenvolvimento ergonômico de produtos. Cobo (1994) descreve em seu trabalho algumas propostas de incorporação da Ergonomia no processo de projeto. São elas : o modelo de projeto ergonômico de Sell, de Gould e Lewis, da empresa Philips e da empresa Siemens. Estas propostas apresentam procedimentos para a incorporação de aspectos relacionados com as pessoas no projeto do produto. Porém, para a execução prática é necessário observar quais são as formas de se introduzir estes aspectos.

Segundo Cushman e Rosenberg (1991) há três maneiras de se introduzir aspectos ergonômicos no projeto do produto : através da evolução do

produto (tentativa e erro), através da intuição dos membros da equipe de projeto e através da aplicação da tecnologia de fatores humanos durante o projeto.

O processo evolucionário tem sido o mais comum, por ser imposto automaticamente pelo usuário que reclama por melhorias no uso do produto, item este, presente em quase todos os questionamentos sobre a sua qualidade. Isto porque é, também, um processo incorporado na cultura do homem, fato que pode ser observado nas ferramentas manuais utilizadas em nossos dias, como por exemplo o martelo, que apresenta uma combinação de materiais adequada ao seu uso, assim como uma forma apropriada que permite um mínimo de esforço na realização da tarefa. Devido a este motivo, os produtos lançados anteriormente e que continuam em desenvolvimento são freqüentemente melhores neste aspecto, que projetos recém-lançados. Enquanto isto é verdade, o processo de evolução tem grandes desvantagens : é muito longo (o produto é melhorado em pequenos incrementos) e relativamente sem controle (não se sabe quão boa será a melhoria e quando ocorrerá).

A intuição é outra forma utilizada para a incorporação de aspectos humanos no projeto do produto. Aqui a equipe de projeto simplesmente decide como será a interface do produto com o usuário e como funcionará, baseada, unicamente, em sua própria opinião e tendências pessoais. O resultado é, freqüentemente, um produto adequado para um engenheiro ou designer, mas inapropriado para o usuário desejado, a não ser que aqueles sejam indivíduos que representem, de maneira satisfatória, o grupo almejado de usuários.

A terceira forma de inserir as considerações ergonômicas é através da aplicação da tecnologia de fatores humanos durante o projeto. Cushman e Rosenberg consideram tecnologia de fatores humanos, o conjunto de conhecimentos pragmáticos sobre o homem (suas características, habilidades e limitações), bem como os métodos e ferramentas para analisar e avaliar a configuração do local de trabalho desenvolvidos por pesquisadores e publicados em livros, manuais, anais de congressos, revistas especializadas. Esta tecnologia inclui tanto métodos como dados, e é baseada em dados empíricos e em modelos desenvolvidos por pesquisadores na área da Ergonomia. Esta forma de incorporação de fatores ergonômicos no projeto permite uma maneira mais segura de adequar o produto ao homem, com confiabilidade e agilidade maiores na obtenção dos resultados.

Utilizando-se as duas primeiras alternativas o risco de fracasso é muito alto, por estas não apresentarem fundamentação na base de conhecimento desenvolvida atualmente, por não se aterem a uma sistematização racional, e também por serem realizadas de forma bastante empírica, baseada apenas no conhecimento prático da equipe de projeto. Através da terceira alternativa consegue-se resultados mais satisfatórios no projeto do produto, por esta não apresentar os problemas das alternativas anteriores e por ter sido desenvolvida para este fim. Na prática, os projetistas descobrirão que todas estas maneiras de integrar fatores humanos são úteis. As melhorias que venham a ocorrer por evolução, não devem ser negligenciadas, pois estas representam também uma forma de obtenção de dados para o aperfeiçoamento do produto. Da mesma

forma, a intuição deve ser usada quando não existir nenhuma base empírica ou teórica para tomar uma decisão no projeto. Porém, sempre que possível, a tecnologia de fatores humanos deve ser usada como base para a tomada de decisões iniciais no projeto, decisões estas que serão de grande alcance para o usuário.

Para que a tarefa de aplicação da tecnologia de fatores humanos seja bem realizada, são necessários alguns instrumentos que auxiliem a introdução de aspectos ergonômicos de maneira adequada e confiável, de forma que o produto chegue o mais próximo possível do produto ideal desejado pelo cliente. Estes instrumentos podem ser : recomendações de projeto, softwares para análise e síntese, bancos de dados, métodos para registro e análise de movimentos, gabaritos, manequins, entre outros.

Para assegurar o afirmado acima, quando a equipe de projeto realizar a busca, o manuseio e a aplicação destes dados haverá a necessidade de instrumentos para que a equipe não perca informações relevantes e também utilize de maneira adequada aquilo que foi pesquisado. Esta necessidade é ressaltada por Saric (1979) que afirma que o problema mais grave não é a falta de informação científica sobre o homem e seu ambiente de trabalho, e sim como aplicar a informação que já existe. O como pressupõe o uso de metodologias e ferramentas adequadas.

Diante da existência de metodologias de projeto ergonômico de produtos (veja acima e adiante), a dificuldade remanescente para o projetista está em **selecionar** as ferramentas adequadas para que, com a máxima eficácia,

consiga projetar ergonomicamente seus produtos. Isto ocorre devido à grande variedade de opções, pela falta de informações que as equipes de projeto normalmente possuem acerca deste assunto e pela ausência de referências para proceder esta escolha. Esta dificuldade é ressaltada por Kline e McAlindon (1992) que afirmam que, apesar do constante crescimento e da variedade de recursos disponíveis para ajudar o projetista em aplicar, no projeto ergonômico, dados da pesquisa básica em Ergonomia, existem poucas fontes disponíveis com informações objetivas sobre as características destes recursos.

Chamando, genericamente, de ferramentas todos os recursos para auxiliar no projeto ergonômico de produtos, a questão que se coloca neste trabalho é **como selecionar, adequadamente, as ferramentas a usar no processo de planejamento e desenvolvimento de produtos quando se deseja obter produtos ergonomicamente projetados ?**

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral fornecer a projetistas, um procedimento genérico e informações para a seleção de ferramentas para o uso no processo de planejamento e desenvolvimento de produtos. Também objetiva-se apresentar informações sobre as ferramentas disponíveis e propostas para o desenvolvimento de novas ferramentas, ou de novas versões, que atendam a fases do projeto carentes em recursos desta ordem.

1.2 JUSTIFICATIVA

As ferramentas para o planejamento e desenvolvimento de produtos têm influência sobre o modo de trabalho da equipe de projeto, sobre o tempo necessário para gerar uma boa solução, sobre o tempo de aprendizado para o uso da ferramenta, sobre os custos do projeto e sobre a necessidade ou não de uma estrutura auxiliar. E, portanto, uma escolha mal fundamentada poderá trazer muitos prejuízos ao desempenho da equipe de projeto. Desta forma, pode-se dizer que este trabalho é relevante.

1.3 HIPÓTESE

Existem muitas ferramentas para auxiliar na incorporação de aspectos ergonômicos no processo de planejamento e desenvolvimento de produtos, com características de uso distintas, bem como qualidade dos resultados diversas.

1.4 METODOLOGIA

Foi realizada uma pesquisa na literatura e entre fabricantes (ou grupos responsáveis pelo desenvolvimento) para a coleta de informações sobre as

ferramentas disponíveis. Para o enriquecimento destes dados, foi distribuído um questionário para a coleta de informações entre projetistas que utilizam estas ferramentas em seu dia-a-dia. A proporção de questionários devolvidos não foi representativa, de forma que suas respostas não podem ser generalizadas. Contudo, serviram para definir critérios para a escolha de ferramentas, bem como para conhecê-las melhor.

As ferramentas encontradas foram agrupadas observando-se aspectos comuns entre elas, que permitem a formação de um conjunto, como, por exemplo : etapas do projeto em que se aplicam. Depois foi feita uma descrição dos grupos e não de cada ferramenta em particular.

A partir das características das ferramentas, das necessidades do grupo de projetos e das necessidades da empresa, foram deduzidos critérios de seleção das mesmas para casos específicos, bem como um procedimento para realizar esta seleção multicritério.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

No Capítulo I é colocado o problema. O Capítulo II aborda o planejamento e desenvolvimento ergonômico de produtos, sendo também descrita uma metodologia desenvolvida por Sell (1988) para este fim.

Após a introdução da metodologia, no Capítulo III são apresentadas as ferramentas pesquisadas. Neste capítulo as ferramentas são analisadas, onde é mostrado o seu funcionamento (forma de trabalho) e a etapa do projeto no qual é utilizada.

No Capítulo IV, são apresentados os critérios de seleção de ferramentas a serem utilizadas no processo de planejamento e desenvolvimento de produtos e também propostas para o desenvolvimento de novas ferramentas. Neste capítulo, são apresentados os passos para a coleta de informações para melhor fundamentar a seleção das ferramentas abordadas ou de outras a serem lançadas, assim como os passos para realizá-la. Ao final, é apresentado um exemplo para o melhor entendimento do que foi exposto, além de informações para que pessoas envolvidas no processo de desenvolvimento de novas ferramentas sejam capazes de iniciar um planejamento destas.

O Capítulo V trata das conclusões e de recomendações. Entre as recomendações são apresentadas sugestões para pesquisas e trabalhos posteriores.

CAPÍTULO II

O PROCESSO DE PROJETO ERGONÔMICO DE PRODUTOS

2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O processo de planejamento e desenvolvimento de produtos está inserido no processo de trabalho da empresa para alcançar os seus objetivos. Este processo de trabalho é um sistema que sofre influências internas e externas.

As influências internas deste sistema são caracterizadas pelos métodos organizacionais, know-how e pelo potencial técnico, econômico e humano, este último proveniente da capacidade dos funcionários. As influências externas que o sistema empresa sofre podem ser oriundas do desenvolvimento do mercado de vendas, do desenvolvimento do mercado de insumos, do desenvolvimento tecnológico, do desenvolvimento político e do desenvolvimento econômico.

Até por volta da década de 60, estes fatores eram particulares aos países onde a empresa tinha atuação e influenciavam apenas neles. Porém, com a atual globalização que as economias têm sofrido, as pessoas têm condições de

obter informações, quase que instantâneas, de fatos que estão acontecendo a milhares de quilômetros. Devido a isto, os consumidores estão mais informados e conseqüentemente mais exigentes em suas decisões. Exigem produtos mais elaborados, fáceis de limpar e manter, que não agredam o meio ambiente, simples de usar, adaptados às suas necessidades e limitações, entre outros. Desta forma, a equipe de planejamento e desenvolvimento de produtos tem grande responsabilidade sobre a manutenção da saúde da empresa. É esta equipe que procurará atender, através do produto, às novas necessidades de nosso tempo, assim como, às necessidades que sempre existiram.

Dentre estas novas necessidades, encontra-se com grande destaque a preocupação maior com produtos mais adequados aos usuários. Atualmente, não são mais aceitos produtos difíceis de usar, que não respeitam as limitações fisiológicas, biomecânicas, mentais, intelectuais, emocionais, que tragam algum risco possível à saúde física ou psíquica do usuário. Este tipo de produto, que não tem enfoque ergonômico, tem o seu ciclo de vida bastante reduzido, podendo inclusive trazer danos legais à empresa, quando puder ser considerado causa de acidente, por exemplo.

Com influências desta ordem, a quantidade de informações com que as equipes de projeto trabalham atualmente é muito grande, necessitando, portanto, de uma metodologia mais objetiva e racional para o planejamento e desenvolvimento de produtos. Na literatura existem diversas metodologias - veja Roth (1982), Pahl e Beitz (1988), Ullman (1992) - e cada autor tem a sua linha de pensamento própria de como realizar, da melhor maneira, o projeto do produto.

Apesar de suas individualidades, estas metodologias têm fatores comuns, que segundo Meister (1985), apresentam as seguintes características :

1 Molecularização - o processo trabalha a partir de uma ampla função molar, e segue para tarefas e sub-tarefas mais moleculares.

2 Requisitos são funções compulsórias - opções de projeto são desenvolvidas para satisfazer requisitos de projeto. Por esta razão, os requisitos de procedimentos formais devem ser incluídos nas especificações iniciais de projeto.

3 O desenvolvimento é descoberta - inicialmente existem muitos fatores desconhecidos sobre o sistema, e durante o processo de projeto estas incertezas são gradativamente clarificadas.

4 O desenvolvimento envolve transformação de informações - as informações que são utilizadas durante o projeto sofrem um processo de modificação à medida que o processo evolui.

5 Tempo - o tempo é sempre tão limitado que os projetistas sentem não ter bem concluída a sua tarefa. Eles, via de regra, gostariam de ir mais além, estudar melhor o problema, testar mais o protótipo, etc..

6 Custo - não existe dinheiro suficiente para financiar o trabalho de projeto, e se as recomendações de procedimentos custarem muito, serão rejeitadas automaticamente.

7 Iteração - as atividades no projeto são repetidas à medida que mais informações detalhadas sobre o produto se tornarem disponíveis.

8 Relevância - a percepção da relevância do projeto por parte dos projetistas é decisiva para a aprovação e julgamento de valor dos procedimentos de entrada.

Estas características estão presentes nas metodologias de projeto por serem fatores que são necessários ao processo de planejamento e desenvolvimento do produto. Algumas metodologias apresentam um enfoque maior em algumas destas características, apresentando mais recursos que outras para realizar isto. Para o projeto ergonômico de produtos, podem ser encontradas as metodologias de Sell (1988) e de Gould e Lewis (1985), além dos procedimentos das empresas Philips e Siemens.

2.2 O PROCESSO DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS PROPOSTO POR SELL

Para a apresentação do processo de projeto ergonômico de produtos, será utilizado, neste trabalho, a metodologia desenvolvida por Sell (1988), na qual é prevista a incorporação de aspectos ergonômicos, desde a fase de planejamento do produto até o acompanhamento por parte da equipe de projeto, no uso do produto, verificando, desta forma, se os objetivos foram alcançados.

O planejamento e o desenvolvimento de produtos é uma das diversas funções pela qual uma organização alcança os seus objetivos. Este

trabalho resulta em novos produtos ou produtos aprimorados, com os quais a empresa pretende dominar ou conquistar maiores fatias de mercado, assegurando assim a sua estabilidade e o tão desejado crescimento.

2.2.1 PLANEJAMENTO DE PRODUTOS

Na fase de planejamento é definida a proposta para o desenvolvimento de um novo produto ou a atualização/melhoria de um já existente. Esta proposta, comumente elaborada pela equipe de marketing e por membros da equipe de projeto, deve conter todas as informações disponíveis sobre o futuro produto (características genéricas desejadas), sobre o mercado, e em especial, sobre os futuros usuários, para que se possa decidir por desenvolver um produto promissor, com grandes chances de sucesso. Para isso, é preciso antes levantar e selecionar, adequadamente, problemas de clientes, gerar possíveis idéias para solucionar estes problemas (produtos e/ou serviços), avaliar estas idéias e, finalmente, selecionar a(s) melhor(es).

Supondo-se que já exista um problema de cliente levantado, o passo inicial da fase de planejamento é a geração de idéias. Para isto, existem diversos procedimentos : uso de métodos intuitivos de geração de idéias (por exemplo : Brainstorming), uso de analogias com sistemas técnicos, uso de analogias com sistemas naturais (Biônica), uso de catálogos, de manuais, entre outros; além disso, a análise dos potenciais da empresa e a combinação forçada de grandezas

pode desencadear processos criativos. Com o intuito de adequar melhor os produtos ao homem, recomenda-se também fazer uma análise de pontos fracos em produtos desenvolvidos pela equipe de projeto e em produtos concorrentes. Para isso, pode-se usar um catálogo no qual estão compilados os pontos fracos, do ponto de vista da Ergonomia, mais comuns em produtos em geral. Cada empresa pode criar o seu próprio catálogo a partir do conhecimento e da experiência de seus membros, acumulados ao longo dos anos.

Pontos fracos do ponto de vista ergonômico são aqui definidos, como sendo a manifestação dos efeitos indesejados e a não manifestação dos desejados por parte do produto sobre as pessoas direta e indiretamente envolvidas, sejam em sua totalidade ou parcialmente (o conceito de efeito desejado e efeito indesejado foram definidos no Capítulo I).

A busca por pontos fracos inicia com uma análise, que deve ser inicialmente realizada observando-se o produto como um **todo**. Nesta análise deve-se observar, dentre outros, os seguintes itens :

- as funções que a pessoa deve realizar com e/ou no produto;
- a maneira como o usuário realiza estas funções (postura, posição, força exercida, etc.);
- aspectos gerais dos elementos com que a pessoa entra em contato direto para realizar a atividade (interface);
- as medidas preventivas de segurança e de danos à saúde física e psíquica das pessoas.

Dependendo do tipo de produto e dos objetivos da empresa com relação ao mesmo, esta lista pode incluir mais itens para a pesquisa de pontos fracos em produtos.

Após esta análise superficial, deve ser realizada uma análise detalhada dos elementos (por exemplo : pedais, manípulos, botões, assentos, rampas, displays) com os quais o usuário entra em contato direto, bem como dos característicos diretamente relacionados com a segurança; como parte dessa análise consideram-se também outras pessoas que de alguma forma entram em contato com o produto e sua embalagem.

A eliminação dos pontos fracos pode levar à procura por idéias sobre novas alternativas de solução e de concepção do produto. Estas idéias podem ser combinadas com outras já existentes. Estas devem ser observadas quanto à sua validade nas áreas técnica, econômica, ergonômica e de satisfação do usuário.

No 2º passo da fase de planejamento, as idéias geradas no passo anterior devem ser avaliadas segundo critérios estabelecidos pelo grupo. O objetivo deste passo é classificar as idéias de acordo com os seus resultados esperados. Os resultados esperados são o atendimento dos requisitos técnicos, econômicos, ergonômicos, ecológicos e outros que o produto tenha que atender, segundo a sua particularidade e filosofia do grupo de projeto. Os critérios de avaliação são oriundos destes requisitos, e a verificação do atendimento aos mesmos, referente a grandezas quantificáveis ou não, bem como a sua influência na avaliação geral é tarefa dos membros da equipe de projeto.

O 3º passo inicia após a definição das melhores idéias ou as mais adequadas. Este passo é importante por ser o resultado das tarefas anteriores e por definir os objetivos a serem alcançados com o produto. Qualquer interpretação errônea poderá causar graves efeitos no comportamento do produto no mercado, e reduzir o seu ciclo de vida.

Neste passo, as idéias são elaboradas na forma de ordem de desenvolvimento, informando os objetivos que se deseja alcançar. Além dos dados técnicos e econômicos que tradicionalmente são considerados, este documento deve indicar :

- os objetivos de configuração a serem perseguidos no projeto;
- o grupo alvo de usuários do produto;
- o grau de automatização desejado, o que mais tarde auxiliará na distribuição das funções entre pessoa e objeto;
- informações sobre o trabalho de manutenção (corretiva, preventiva e preditiva), transporte, instalação e outros não realizados diretamente pelo usuário.

A ordem de desenvolvimento deve reunir todas as informações até então disponíveis sobre o problema do cliente e as possibilidades da equipe de projeto solucioná-lo (dados sobre investimento necessário, prazos, potenciais necessários, etc.) para que a alta administração possa decidir sobre a implementação da proposta ou não.

Após a emissão da ordem de desenvolvimento, a equipe que participou da etapa de planejamento acompanhará o trabalho de

desenvolvimento. Isto tem a finalidade de observar se a ordem elaborada anteriormente está sendo seguida e esclarecer eventuais dúvidas que possam surgir durante o processo, assim como, autorizar possíveis desvios que a equipe de desenvolvimento achar necessário.

Outra atividade do grupo responsável pelo planejamento é o acompanhamento do produto durante a sua permanência no mercado. Se houver insucesso do produto, o seu diagnóstico deve ser realizado o mais breve possível para que medidas de ajustes sejam tomadas. Estas medidas iniciam com a busca das causas deste insucesso. Caso estas causas se originarem diretamente do produto, a equipe deve elaborar uma nova ordem para sanar aqueles problemas e procurar evitar o surgimento de outros, a partir das alterações realizadas. A figura 2.1 resume as etapas e os passos correspondentes do planejamento de produtos.

Etapas	Atividade
I. Procura de idéias para produtos	1. Gerar idéias para produtos. 2. Avaliar idéias para produtos. 3. Elaborar proposta e ordem de desenvolvimento de produtos.
II. Acompanhar desenvolvimento do produto	1. Controlar o alcance dos objetivos e o atendimento aos requisitos. 2. Fomentar ajustes
III. Acompanhar produto no mercado	1. Analisar pontos fracos do produto lançado no mercado.

Veja : Sell, 1988

Figura 2.1 : Etapas do Planejamento de Produtos

Com a proposta pronta, inicia-se então a fase de desenvolvimento. Nesta fase será realizada a clarificação da tarefa de desenvolvimento e também a concepção do produto, o projeto preliminar e o projeto detalhado.

- 2.2.2 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

A equipe responsável pelo desenvolvimento do produto tem a sua tarefa baseada na ordem de desenvolvimento elaborada na fase anterior, a de planejamento. A ordem deve ser bem entendida e para auxiliar nesta fase, a equipe de planejamento poderá ser chamada. A fase de desenvolvimento de produtos é subdividida em clarificação da tarefa, concepção, projeto preliminar e projeto detalhado.

2.2.2.1 Clarificação da Tarefa de Desenvolvimento

Na ordem de desenvolvimento do produto deverão estar especificados os grupos de usuários, as condições de uso, os objetivos que se pretende alcançar com o projeto do produto, as restrições da empresa, etc.. A partir da ordem de desenvolvimento do produto será gerada a lista de requisitos que servirá de base para as fases subseqüentes, não apenas como orientadora dos trabalhos, mas também como fundamento para a elaboração dos critérios de

avaliação das alternativas geradas e como protocolo do processo de desenvolvimento do produto.

Nesta lista são formulados os desejos do futuro usuário, suas necessidades, as limitações de orçamento (tanto do usuário quanto da empresa), limitações de legislação, etc.. Para a inclusão de aspectos ergonômicos na lista é recomendado um método onde o sistema produto-usuário é analisado em todas as fases de vida do produto (fabricação, utilização e descarte). As análises das possibilidades e formas de interação entre o usuário e o produto em todas estas fases fornecem ricas informações para a lista de requisitos.

Aqui devem ser compilados todos os dados importantes para o processo de desenvolvimento, sendo que a clarificação da tarefa deve ser bastante abrangente. Para tal, os membros da equipe devem dividir o seu trabalho em duas partes : uma inicial de coleta de informações e outra de elaboração da lista de todos os requisitos (baseada nas informações coletadas e na ordem de desenvolvimento).

A coleta de informações é importante, porque na ordem de desenvolvimento não existem todos os dados necessários para a definição dos requisitos. Devido a isto, é preciso realizar um levantamento bastante amplo, para garantir que todos os aspectos relevantes sejam considerados. Aspectos estes que devem incluir, além dos tradicionais (como por exemplo, os funcionais), os aspectos ergonômicos, que irão permitir uma melhor inclusão de fatores relativos ao homem no desenvolvimento do produto.

Porém, alguns problemas surgem para determinar o tipo, a quantidade e maneira como coletar estas informações. O planejamento para a procura e coleta destes dados deve ser orientada a partir dos objetivos de configuração indicados na ordem de desenvolvimento. A coleta de informações implica em custos, devido a isto é necessário determinar previamente qual a abrangência e o nível de detalhes desta pesquisa, para evitar um excesso de informações ou a ausência de informações fundamentais para o processo.

Com o objetivo de projetar ergonomicamente um produto, na coleta de dados deve-se observar os seguintes itens para a elaboração da lista de requisitos :

- **Fases de vida do produto** : é preciso observar e respeitar as capacidades, necessidades e limites humanos em todas as fases de vida de um produto, assim como a interação entre o produto e o usuário durante estas fases, ou entre o produto e outras pessoas que realizarão atividades como transporte e manutenção.

- **Qualidades/características das pessoas** : estes dados são importantes para se ter conhecimento do nível de experiência do usuário com produtos similares, sua formação escolar, suas características físicas, os interesses do usuário (seus desejos) e toda e qualquer informação que seja importante para enriquecer, neste campo, a lista de requisitos.

- **Riscos** : para a eliminação ou prevenção de riscos, é necessário a identificação destes e de suas causas. Desta forma, a preocupação com os

riscos aos quais o futuro produto possa expor as pessoas é imprescindível para evitar que sejam criados no projeto.

- **Sistema de efeitos** : no sistema homem-produto o usuário sofre efeitos do produto, o produto sofre efeitos do usuário, ambos sofrem efeitos do ambiente e o ambiente sofre efeitos do produto e do usuário. Estes efeitos devem ser conhecidos, assim como as suas causas, e observados se são desejáveis ou indesejáveis para posterior tomada de decisão.

- **Áreas de configuração** : no projeto, tem-se possibilidade de influir em diversas áreas, as chamadas áreas de configuração. Estas áreas podem ser a definição da tarefa do usuário, a posição e a postura do usuário, os fatores ambientais (ruído, radiação) e os riscos. Considerar as áreas de configuração tem a vantagem de contribuir para a abrangência da lista de requisitos.

- **Requisitos genéricos** : é recomendável que a equipe de projeto consulte uma lista com requisitos genéricos para a elaboração da lista de requisitos ergonômicos. Desta forma, é facilitada a união entre a parte explicitamente funcional do produto e a parte que realiza a interface com o usuário, além de facilitar a formulação dos requisitos, acelerar o processo total de projeto e favorecer a elaboração de uma lista mais completa de requisitos obrigatórios e desejáveis (para distinguir requisitos obrigatórios de desejáveis ver Pahl e Beitz 1988).

É importante ressaltar que no caso de um produto específico, poderá haver a necessidade de uma volta a esta fase para a coleta de novos dados que, inicialmente, não se sabia serem necessários.

Ao final da coleta de dados, inicia-se a elaboração da lista de requisitos. Esta elaboração, segundo proposta de Roth (1982), pode ser realizada com o auxílio de três recursos : a lista de perguntas sobre o produto, a análise do ambiente do produto e a análise das fases de vida do produto. Estes três procedimentos abordam o assunto em distintos graus de detalhamento. Para a elaboração da lista de requisitos, Sell (1988) sugere o uso do 3º método proposto por Roth. Os requisitos ergonômicos devem estar relacionados com as interações homem-produto em todas as fases de vida do produto, desde a construção do protótipo, passando pela fabricação e pelo uso até a reciclagem ou eliminação final do produto. A lista de requisitos é uma maneira de formalizar as exigências, desejos e anseios dos clientes, mas também é utilizada para informar as limitações de projeto, tanto de conhecimento técnico dos membros da equipe como da disponibilidade de materiais, da legislação, etc..

No afã de obter uma lista de requisitos bastante completa, corre-se o risco de já propor uma solução nesta etapa, o que não é desejável. A equipe deve procurar esclarecer ao máximo as informações coletadas e organizá-las para as fases subseqüentes, onde se criam e se desenvolvem as soluções.

Com o desenvolvimento do projeto novas perguntas deverão surgir para se obter mais informações. Desta forma deverão ser incluídos à lista novos

requisitos, e os requisitos aí colocados devem ser gradativamente formulados de maneira mais precisa e mais concreta.

A elaboração da lista de requisitos é um processo contínuo durante o desenvolvimento do projeto. Durante o processo de projeto alguns requisitos mudam de acordo com situações de caráter político, econômico e social.

Depois de lançar o produto no mercado é preciso observar como se comportam as vendas, compilar as reclamações e sugestões de usuários para obter novos requisitos para um possível reprojeito do mesmo.

2.2.2.2 Concepção

Nesta etapa do desenvolvimento é realizada a concepção do produto, através da abstração da tarefa, geração criativa de princípios de solução e combinação destes princípios; as soluções assim geradas são submetidas a uma avaliação com critérios multidisciplinares, derivados da lista de requisitos.

A concepção, segundo Pahl e Beitz (1988), inicia com a abstração e a formulação do problema. Para isto, analisa-se a lista de requisitos, a formulação da(s) função(ões) requerida(s) e as condições mais significativas, para que a essência da tarefa de projeto seja claramente conhecida. Com isto, deseja-se formular o problema da maneira mais abstrata possível, na linguagem de funções (verbo + substantivo) sem a determinação de quaisquer soluções. Este

procedimento é realizado para se definir a função global e as verdadeiras restrições que a solução do problema (o produto) terá que satisfazer.

A função global pode ser desmembrada em diversas funções parciais mais simples. A associação destas funções origina a estrutura de funções. Nesta estrutura de funções devem existir sub-funções que levem em consideração as pessoas que vão usar o produto, por exemplo: alcançar, mover-se, levantar-se, visualizar.










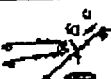
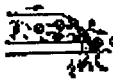




O passo seguinte é o de procura de soluções para as funções parciais, que devem ser divididas entre o usuário e o produto. Do ponto de vista da Ergonomia, esta divisão de tarefas é o ponto vital de qualquer projeto. É neste passo que se consegue observar melhor o quanto a equipe está envolvida com a real adequação do produto às pessoas, pois muitos efeitos do produto sobre as pessoas e sobre o ambiente são decorrentes do seu princípio de funcionamento e este é definido aqui.

A procura de soluções pode ser realizada com métodos de geração de idéias mais discursivos ou métodos mais intuitivos. Os métodos discursivos baseiam-se em pesquisa sob diversas fontes de informação, como por exemplo : catálogos, manuais, princípios de solução de outros produtos, etc.. Os métodos intuitivos consistem em formar grupos para a aplicação de técnicas de estímulo à criatividade, como por exemplo : Brainstorming, método Delphi, sinética, etc.. Com a aplicação destas técnicas procura-se obter, então princípios de solução para as funções parciais (desmembramento da função global).

Nos princípios de solução é preciso observar claramente quem desempenhará cada sub-função, se o usuário ou o produto. Para a distribuição definitiva das funções entre homem e máquina é necessário lembrar que há funções que são inadequadas ao homem, como também, que as funções passíveis de realização pelo homem devem solicitá-lo na medida certa.

Para a divisão de tarefas, as recomendações mais comuns consistem em listas de declarações gerais sobre coisas que o homem faz melhor que a máquina e vice-versa (veja Chapanis 1960, Fitts 1962, Woodson/Conover 1964 e Meister 1971). Jordan (1963), observando estas listas, afirmou que o homem pode realizar diversas tarefas em situações inusitadas ou não, porém a sua performance é muito variada; enquanto que a máquina, em relação ao homem não tem nenhuma flexibilidade, porém sua performance é constante.

Para a realização da função global é preciso que os princípios de solução elaborados para as funções parciais sejam combinados. Esta combinação obedece à estrutura de funções estabelecida no início da fase de concepção e pode ser realizada sistematicamente através do auxílio do esquema morfológico ou do auxílio de matemática básica (análise combinatória). Por sua praticidade, na maioria dos casos aplica-se o esquema morfológico, onde é montada uma matriz que nas suas linhas indica-se as funções parciais da estrutura de funções e as possíveis soluções, na forma de croquis, para cada sub-função (ver fig. 2.2).

Soluções / Sub-funções		1	2	3	4	---
1	Arrancar	 rolo de pressão	 rolo de pressão	 rolo de pressão	 rolo de pressão	---
2	Peneirar	 Peneira tipo correia	 Peneira tipo grade	 Peneira tipo tambor	 Peneira tipo roda	---
3	Separar folhagem	 Separador	 Separador	 Separador	---	---
4	Separar torrões	 Separador	 Separador	 Separador	 Separador	---
5	Classificar batatas	Manual	Por atrito (plano inclinado)	Verificar tamanho (por padrão)	Verificar peso	---
6	Coletar	Esvaziar em depósito	Correia	Dispositivo para encher um saco	---	---

Veja : Pahl & Beitz, 1988

Fig. 2.2 : Matriz morfológica com princípios de solução para uma máquina de colher batatas.

Desta forma, para cada coluna tem-se uma solução. É óbvio que estas podem ser alteradas e combinadas de outra forma de acordo como o grupo de projeto determinar.

Nas soluções localizadas nas colunas, deve ficar claro se a função em questão será executada pela pessoa, pelo produto ou por ambos. Nos casos em que há a participação do usuário, é preciso dizer de que maneira esta participação deverá ocorrer.

O grande problema para a combinação dos princípios de solução das sub-funções é a identificação da compatibilidade física entre estes, que serão conectados para a montagem do produto. Para o bom funcionamento do produto o fluxo de sinal, energia e material deve seguir sem perturbações.

Algumas combinações podem atender aos requisitos funcionais acima, mas podem ser pobres no aspecto ergonômico. Por isso, é preciso ter como combinações adequadas aquelas em que se prevê para o usuário uma atividade que é realizável e que tenha sentido e conteúdo, ou seja, atividades que não levem ao desgaste físico ou emocional. A lista de requisitos deve servir de base como fonte de critérios para a avaliação dos princípios de solução a serem escolhidos.

Após a realização dos passos acima, muitas dúvidas já terão surgido. Estas dúvidas são referentes aos requisitos dos elementos, assim como a especificação de requisitos, ou até mesmo a sua quantificação, que anteriormente foram determinados de uma forma muito ampla. Assim sendo, é necessário se estender a lista de requisitos.

Esta ampliação da lista de requisitos se dá também em torno dos elementos com os quais o homem está em contato direto, a interface homem-produto. Aqui novamente devem ser observados a troca de efeitos entre o homem e o produto e entre estes e o ambiente. Pois os princípios de solução, apesar de não estarem definitivamente selecionados, já estão melhor definidos e os seus efeitos já são melhor percebidos e quantificados. E esta observação deverá servir de subsídio para a ampliação da lista de requisitos.

Para o início da próxima etapa, o projeto preliminar, é preciso que antes seja definido o princípio de solução para as funções secundárias. Porém, antes é necessário dar indicações mais precisas e detalhadas sobre os seus elementos. Portanto, para realizar estas indicações do ponto de vista ergonômico,

busca-se informações mais precisas sobre a interface usuário-produto. Estas informações permitirão reconhecer as peças necessárias ou o conjunto delas, assim como conclusões mais precisas sobre o espaço necessário, peso do equipamento, perturbações aos sentidos, etc.. Estas indicações incluem as partes do corpo/órgãos com a ajuda dos quais a pessoa deve executar as funções previstas para ela, modos de acionar os comandos e controles com as extremidades (contato, pega ou empunhadura), tipo dos meios para fornecer informações ao usuário e combinação de meios de informação e pontos de ação.

Com as informações geradas na etapa descrita acima, a equipe tem melhores condições de realizar uma avaliação entre as variantes de concepção. Esta avaliação deve ser realizada segundo critérios técnicos, econômicos e ergonômicos oriundos da lista de requisitos e outros que venham a surgir de acordo com o produto e a filosofia da empresa. É necessário que os critérios recebam pesos, para que os de maior relevância tenham influência maior no resultado final da avaliação.

Se uma variante de concepção apresentar um desempenho ruim na avaliação por algum critério, isto indicará um ponto fraco em relação a ele. Porém, eventualmente, é possível transferir soluções parciais de bom desempenho na avaliação de uma variante para outra, eliminando-se pontos fracos que tenham sido detectados. Entretanto, deve-se sempre observar a compatibilidade entre os princípios de solução das sub-funções, conforme foi ressaltado anteriormente.

Ao final da avaliação deverá ficar claro uma ordem de valor entre as alternativas de concepção. Além disso, os pontos fracos destas soluções ficarão mais salientes para que possam ser melhor trabalhados nas etapas posteriores do projeto.

As melhores alternativas deverão ser mantidas, enquanto que as restantes devem ser descartadas. O número de alternativas a serem escolhidas é determinado pelo próprio grupo de projeto, porém um número excessivo implicará em mais custos e os ganhos com esta atitude deverão ser mínimos. Na etapa de projeto preliminar será escolhida a alternativa a ser, definitivamente, adotada.

2.2.2.3 Projeto Preliminar

As alternativas resultantes do processo de concepção agora serão implementadas no projeto preliminar, e à medida que esta etapa for avançando ficará evidenciado a melhor solução. Ao final da mesma etapa é determinada a alternativa definitiva.

Nesta etapa do projeto as tarefas são mais corretivas do que criativas. Existe uma constante alternância entre análise e síntese para possibilitar as tarefas corretivas que permitirão a melhoria do projeto do produto.

Nesta etapa pode-se definir os seguintes passos : realização de configuração básica, avaliação das propostas, procura e eliminação dos pontos fracos e seleção da proposta.

Na realização da configuração básica, são fixadas as manifestações do produto como um todo. Pahl e Beitz (1988) recomendam que inicialmente se considere os portadores das funções principais. Devido a estes portadores determinarem, significativamente, a estrutura do produto e, conseqüentemente, as medidas, a localização e posição dos elementos, etc., a escolha dos portadores das funções secundárias deve ser objeto de trabalho após a configuração das funções principais.

Estes autores ainda sugerem que a configuração do produto deve obedecer às regras de configuração : simples, inequívoco e seguro. As diretrizes básicas e constantes na configuração do produto, do ponto de vista da Ergonomia, devem ser as relações homem-produto e os efeitos resultantes desta relação.

Na definição das manifestações do produto podem ser escolhidos os materiais a serem utilizados e o processo de fabricação, assim como a determinação das dimensões do produto e características dos elementos de contato (direções de movimento para acionamento de comandos, direção da força a aplicar, etc.). Nestas definições, é necessário buscar manifestações que tragam, na medida do possível, os efeitos desejáveis, e as manifestações que possam vir a causar efeitos indesejáveis devem ser descartadas.

Para tal, é preciso que o grupo de projeto tenha informações sobre as características dos materiais e dos processos de fabricação, dos possíveis efeitos sobre as pessoas, e no aspecto ergonômico, é necessário melhores definições de dados do grupo de usuários, especialmente antropométricos. Talvez seja necessário, nesta etapa, realizar nova pesquisa de dados, e devido ao projeto estar em um estágio mais adiantado, busca-se por informações mais específicas.

Ao final desta etapa, deverão haver alguns projetos preliminares já elaborados, entretanto, para que o processo de projeto continue, é preciso que seja escolhida a melhor solução. Para que esta seja bem feita é importante realizar uma avaliação entre as variantes de solução.

A avaliação das alternativas deve seguir o mesmo procedimento cumprido para avaliar as variantes de concepção. Devido ao projeto já estar em um estágio bastante adiantado e o nível de informações ser bastante satisfatório, a seleção da melhor alternativa para o projeto é feita de maneira mais segura, com as qualidades e deficiências das alternativas mais ressaltadas.

Para a realização da avaliação, deve-se antes procurar analisar os pontos fracos das alternativas em questão. Estes pontos fracos devem ser eliminados, se possível. Não havendo esta chance, a equipe deve procurar reduzir os efeitos destes pontos fracos ou melhorar a performance da alternativa em relação aos critérios de avaliação.

Para melhorar alternativas que têm pontos fracos, pode ser realizado o mesmo procedimento anterior, ou seja, combinar novas soluções

parciais ou soluções de outras alternativas. Deve-se evitar a criação de novos pontos fracos, e garantir as compatibilidades física, geométrica e ergonômica.

O teste de compatibilidade das partes dos elementos de configuração é relevante para que se possa concluir o processo de seleção da melhor alternativa de projeto preliminar. Na análise de compatibilidade do ponto de vista ergonômico, a equipe deve procurar novamente as relações entre o usuário e o produto para observar os efeitos conseqüentes desta interação.

Para Sell (1988), uma boa solução ergonômica é a que prevê para o usuário uma tarefa em que :

- a posição e a postura a serem adotadas pela pessoa são favoráveis para todo o grupo de usuários almejados;
- os movimentos do sistema mão-braço ou perna-pé, ou da cabeça podem ser realizados com pequena solicitação;
- as direções funcionais dos elementos de contato do produto são compatíveis com os movimentos mais favoráveis do sistema mão-braço ou perna-pé; pode ser que as direções funcionais definidas na fase de concepção tenham que ser revistas aqui;
- é garantida uma transmissão de forças propícia entre as extremidades do corpo humano (mão, dedos, pé) e os elementos do produto; pode ocorrer que o tipo de acoplamento (fecho paralelo, fecho perpendicular) definido na escolha dos elementos terá de ser questionado aqui;

- a postura da mão e do pé no acionamento de comandos é anatomicamente favorável, de forma a evitar danos às juntas;
- o tipo de pega necessário foi determinado considerando aspectos anatômicos e fisiológicos, tendo em vista a precisão e o tempo de acionamento e a resistência do comando;
- foram considerados aspectos cognitivos.

Como já foram determinados a localização dos elementos de contato, o tipo de acoplamento e a direção funcional, nesta etapa da fase de desenvolvimento podem ser analisadas a tarefa, a postura e a posição da pessoa, assim como as forças e os movimentos a serem realizados. As situações indesejadas, que vierem a ser conhecidas a partir desta avaliação devem ser corrigidas, para que seja possível realizar a seleção da melhor proposta de projeto preliminar. Esta proposta passa a ser então a base para iniciar o projeto detalhado.

2.2.2.4 Projeto Detalhado

Esta é a última etapa da fase de desenvolvimento de produtos. Nesta etapa são determinadas a alocação, a forma definitiva (detalhamento da forma), as dimensões, os materiais, o acabamento superficial das peças e partes, os processos de fabricação, a montagem, o transporte, etc.. Aqui são elaborados todos os documentos para serem enviados aos diversos setores envolvidos com a

elaboração e transporte do produto. Também é nesta fase que é construído o protótipo e realizados os testes deste.

Para iniciar a etapa de projeto detalhado é preciso definir as manifestações do produto e de seus elementos que ainda estão em aberto. Para realizar esta atividade a equipe pode se basear em todos os estudos já feitos anteriormente.

As manifestações do produto são determinados pelos seguintes característicos :

- princípio de funcionamento;
- distribuição de funções entre pessoa e objeto;
- material (ou materiais), processos de fabricação;
- acabamento superficial;
- dimensões, detalhes;
- cores, indicações;
- tipo e alocação dos elementos;
- posição relativa dos elementos;
- medidas preventivas de segurança.

Após o passo de definição de todas as manifestações do produto e de seus elementos, a equipe deve elaborar especificações de qualidade para as peças a serem fabricadas por terceiros. Estas especificações são para as manifestações do produto e dos seus elementos, cujas peças a empresa não tem condições de manufaturar ou acredita que outro fabricante conseguirá um menor custo e/ou melhor qualidade. Estas manifestações são formuladas em forma de

especificações de qualidade, que devem servir de base para o contrato de compras. Estas especificações de qualidade deverão ser usadas não somente na elaboração do contrato, mas também nos contratos de garantia de qualidade e na inspeção de recebimento de materiais e insumos.

Interno à empresa, é preciso elaborar recomendações para a fabricação, montagem, assistência e manutenção. Em alguns produtos, onde se prevê o descarte, a equipe deve elaborar um item específico sobre este tema no manual do usuário.

Além disso, o manual do usuário deverá trazer informações sobre segurança, o uso do produto, riscos de mau uso (condutas inseguras), programa de limpeza e manutenção e outras recomendações que a equipe achar necessária.

Na manufatura do protótipo, serão utilizados os documentos de fabricação gerados anteriormente, neste momento verifica-se se estes documentos estão adequados ou se precisam de alguma alteração. Caso algum defeito ou ponto fraco seja detectado, a equipe responsável pelo projeto deve buscar as causas e eliminá-las, assegurando uma produção sem maiores perturbações.

Os testes a serem realizados com o protótipo devem ser bastante amplos. A equipe deve prever toda sorte de cargas e acontecimentos que venham a ocorrer com o produto durante o seu uso.

O objetivo destes testes severos é identificar possíveis pontos fracos que o produto ainda possua. Novamente aqui, deve-se eliminar estes pontos sem que o conjunto seja prejudicado ou evitar que surjam novos pontos fracos. O provável alto custo da eliminação destes pontos, curtos prazos para o lançamento

do produto, além de possíveis problemas de ordem política dentro da empresa podem ser somados à possível pequena relevância dos pontos fracos encontrados. Todos estes fatores fazem com que a eliminação destes pontos seja adiada para uma nova versão do produto. O aceite desta hipótese é papel da equipe de projeto e da administração da empresa.

A figura 2.3 resume as etapas e os passos correspondentes da fase de desenvolvimento de produtos.

Etapa	Atividade
I. Clarificação da tarefa	<ol style="list-style-type: none"> 1. Coletar informações 2. Elaborar lista de requisitos
II. Concepção	<ol style="list-style-type: none"> 1. Abstrair, formular problema, elaborar estrutura de funções 2. Procurar princípios de solução e escolher distribuição de funções entre homem e produto adequados 3. Combinar princípios de solução e testar compatibilidade desta seleção 4. Aumentar lista de requisitos, precisar a sua formulação, elaborar requisitos dos elementos dos produtos 5. Concretizar alternativas de concepção, dar indicações mas precisas sobre os elementos 6. Avaliar as alternativas de concepção, selecionar as mais adequadas
III. Projeto Preliminar	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fixar manifestações do produto, fazer configuração básica 2. Avaliar alternativas de proj. preliminar 3. Procurar e eliminar pontos fracos 4. Testar a compatibilidade das partes e dos elementos de configuração, selecionar a melhor alternativa
IV. Projeto Detalhado	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fixar definitivamente as manifestações do produto e dos elementos, fazer configuração detalhada 2. Elaborar documentos / Iniciar construção do protótipo 3. Elaborar especificações para peças a serem compradas 4. Elaborar recomendações para fabricação, montagem, transporte, instalação, manutenção e descarte 5. Avaliar protótipo 6. Procurar pontos fracos no protótipo e eliminá-los ou aceitá-los

Veja : Sell, 1988

Figura 2.3 : Etapas do Desenvolvimento de Produtos

CAPÍTULO III

DESCRIÇÃO E ANÁLISE DAS FERRAMENTAS PARA O PROJETO ERGONÔMICO DE PRODUTOS

3.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo trata das ferramentas aplicáveis ao projeto de produtos voltadas para o aspecto ergonômico. Tais ferramentas são as diversas formas utilizadas para auxiliar a equipe na busca de informações para o projeto, introduzir estas informações no processo de desenvolvimento do produto e auxiliar na tomada de decisões relativas ao projeto.

Estas ferramentas têm uma variedade muito grande sendo necessário uma classificação. Kline e McAlindon (1985), assim como Rouse et al (1992) classificam as ferramentas para o projeto em função do propósito a que se destinam. Rouse et al apresentam as ferramentas em cinco classes, ferramentas para : alocação de funções, especificação de sistemas de ajuda, análise de escolha entre treinamento ou ajuda ao usuário, projeto de displays e projeto para o retorno de informações ao usuário.

Neste trabalho, buscando-se facilitar o processo de seleção das ferramentas, realizou-se uma classificação em função da necessidade dos projetistas pelo uso destas no processo de planejamento e desenvolvimento de produtos. Desta forma, as ferramentas foram reunidas em três grupos básicos : as utilizadas para a obtenção de dados para o planejamento do produto, as diretrizes de projeto e as ferramentas para teste e refinamento. Existe a possibilidade de que uma ferramenta seja classificada em mais de um destes grupos, porém esta sempre apresentará uma característica mais forte que irá determinar a sua classificação preferencial. No Anexo III encontram-se exemplos de operação das ferramentas representativas de cada grupo.

Para um produto específico podem existir ferramentas que não estão listadas ou apresentadas neste trabalho. Estas ferramentas, freqüentemente, são criadas pelo próprio grupo de projeto para buscar informações a questões específicas de seu interesse ou então, o grupo faz um novo uso da ferramenta que até então nenhum outro tenha atentado para tal. Desta forma, a procura por englobar totalmente o assunto é uma busca em si mesma e é apenas limitada pela capacidade criativa dos projetistas de buscar a sua forma pessoal de conseguir as informações necessárias, ou de aplicá-las ao projeto. Este trabalho apresenta algumas das ferramentas clássicas comumente usadas em nossos dias pelas equipes de projeto.

Algumas destas ferramentas apresentam uma frequência de uso maior, grandemente influenciada pelo custo financeiro que esta implica. Porém, o desempenho destas não é o mais apropriado, por não serem muito recomendadas

ao uso em questão, gerando com isto um esforço maior para a busca de mais dados, o que implica em mais gasto de tempo e, indiretamente, de recursos financeiros. O projetista precisa equilibrar e entender bem a relação custo/benefício. Assim sendo, a escolha das ferramentas para o uso no projeto ergonômico de produtos, assunto este abordado no próximo capítulo, deve ser principalmente realizada por projetistas que têm uma preocupação maior com este aspecto e também de maior experiência dentro do grupo. Estes devem, inicialmente, realizar um levantamento destas ferramentas e procurar quais podem fornecer o que desejam. A equipe deve preparar um documento que relate a sua necessidade, o que desejam que a ferramenta realize e de que maneira. A decisão final deve ser feita pelo grupo todo, porque estes é que farão uso das ferramentas.

Para o enriquecimento deste capítulo foram distribuídos questionários tanto no Brasil como no exterior, para escritórios de design, empresas que desenvolvem produtos industriais e pesquisadores. O questionário pode ser encontrado no Anexo II. A intenção deste questionário não foi levantar quantos projetistas usam determinada ferramenta ou algo semelhante, mas captar as experiências pessoais dos projetistas que trabalham diretamente com as ferramentas. No Anexo I são apresentados alguns endereços dos fabricantes das ferramentas descritas neste capítulo.

Ao final de cada grupo de ferramentas, são apresentados exemplos de ferramentas que pertencem ao grupo descrito anteriormente. Esta apresentação é padronizada para todas as ferramentas de todos os grupos, para permitir que o

projetista compare as ferramentas de diferentes grupos. Estes elementos são os seguintes :

Nome comercial : Caso a ferramenta seja comercializada, aqui neste campo será apresentado o seu nome apresentado ao público, caso contrário, a palavra **comercial** será omitida e então será apresentado o nome que a ferramenta é mais conhecida.

Custo estimado : Aqui é apresentado o custo aproximado de aquisição, este valor será referenciado em dólares devido a que a maioria das ferramentas serem provenientes do exterior.

Facilidade de uso : Neste campo será apresentado a dificuldade em aprender o uso (treinamentos, leituras de manuais), assim como em utilizar no dia-a-dia do projeto. Este item servirá apenas como indicador, visto que é bastante subjetivo. Poderá ter três alternativas : boa, moderada e má.

Etapas do projeto em que se aplica : Apesar da ferramenta já estar previamente classificada, aqui será apresentado o uso da ferramenta, qual a etapa do processo de projeto em que ela será de maior utilidade.

De que maneira a informação é fornecida ao projetista : Este item fornece a informação de como a informação se apresenta, por meio de figuras, relatórios impressos, por um monitor, etc..

Tipos de projeto em que se aplica : Neste item serão dadas algumas sugestões sobre o tipo de produto em que a ferramenta

pode ter um uso mais adequado. Entretanto, podem ser encontradas outras aplicações não observadas aqui.

Limitações : Este item apresenta as limitações e restrições de uso das ferramentas. É útil para que os responsáveis pela escolha verifiquem se a ferramenta em análise é adequada para a sua aplicação.

3.2 FERRAMENTAS PARA O PLANEJAMENTO DE PRODUTOS

As ferramentas para a análise da tarefa e do ambiente de trabalho são as utilizadas por aqueles que realizam pesquisa básica em Ergonomia e também por projetistas que não possuem informações suficientes para a aplicação específica que desejam, ou que estão trabalhando na proposta de desenvolvimento do produto. Os projetistas também utilizam estas ferramentas para a coleta de dados e para prover a tomada de decisões no processo de projeto do produto.

O uso das ferramentas para o planejamento de produtos se faz necessário quando há uma deficiência de informações relevantes disponíveis, aplicáveis à situação em questão, quando a interface com o usuário é muito complexa e quando as experiências prévias dos projetistas não são suficientes. Ou seja, a necessidade do uso destas ferramentas é diretamente relacionada à disponibilidade de informações ergonômicas para o projeto. Estas informações,

provavelmente, serão muito limitadas se o produto é completamente novo ou se ele tem um número grande de novas características.

A partir da observação do usuário interagindo com o produto de versão anterior, com produtos concorrentes ou similares, os projetistas conseguem dados suficientes para preparar uma proposta visando as melhorias que foram observadas como necessárias no projeto de um produto novo ou em um reprojeto. Desta forma, com as ferramentas para o planejamento de produtos, a equipe de projeto pode verificar se os requisitos ergonômicos foram alcançados na versão anterior e levantam dados para uma futura alteração no projeto do produto. Além disso, utilizando-se estas ferramentas, consegue-se responder a perguntas específicas de projeto, estimar parâmetros e testar hipóteses.

Com as ferramentas para o planejamento, também são realizados os testes de usabilidade. Estes testes verificam a facilidade de uso, a performance do usuário (produtividade e erros), a facilidade de aprendizado, a aquisição de experiência e a satisfação do usuário.

Dentro da análise das ferramentas utilizadas para o projeto ergonômico de produtos, o grupo de ferramentas para o planejamento é o mais diversificado. Apesar da característica comum de trabalharem para a mesma finalidade, prover informações para o planejamento de produtos, estas ferramentas realizam esta tarefa de diferentes maneiras. Isto acontece por buscarem informações de ordem distinta. Com o propósito de indicar ferramentas para a medição, Woodson e Conover (1964) apresentam a listagem abaixo :

Equipamentos para medição da quantidade de luz - mede fontes de iluminação assim como a quantidade de luz sobre uma superfície.

Equipamentos para medição de ruídos - usado para medir a quantidade de ruído em um ambiente, alguns permitindo a segmentação e análise de sons em suas componentes de frequência. -

Equipamentos para medição da temperatura e da umidade - úteis para a verificação do conforto térmico de ambientes.

Equipamentos para medição de níveis de toxidade - utilizado para a medição da poluição, medem a quantidade de partículas suspensas e gases tóxicos gerados pelo produto.

Equipamentos para medição da velocidade do ar - utilizados para verificar a que taxa o ar de um ambiente se renova.

Equipamentos para medição de forças - utilizado para verificação de valores biodinâmicos em usuários do grupo alvo.

Equipamentos para medição do corpo humano - permite que sejam realizadas medidas antropométricas estáticas.

À esta lista podem ser adicionadas mais ferramentas, cujas tarefas são bastante específicas, como as apresentadas anteriormente. Aqui não será proposta uma hierarquia para a seleção destas ferramentas, pois esta hierarquia será função do problema específico que a equipe possui no projeto.

Porém, um problema comum no processo de planejamento e desenvolvimento é a maneira como o usuário atua em relação ao produto. Este problema pode ser facilmente verificado quando um produto totalmente novo, ou

uma nova versão deste, está sendo desenvolvida. Este tipo de tarefa é complexa até mesmo para especialistas em comunicação e semiótica, que buscam indicar ao usuário a finalidade do produto, e se possível a maneira de utilizá-lo.

Por este motivo, aqui serão descritas as técnicas e ferramentas utilizadas no registro de movimentos. Estas ferramentas são aplicadas na observação dos movimentos que o usuário realiza para executar determinada tarefa, e a partir da análise destes movimentos, a equipe procura informações para aprimorar o produto, para realizar a correção de posturas e posições, assim como, melhorar o desempenho do usuário na utilização do produto que está sendo desenvolvido.

De acordo com Samuelson et al (1987), estas ferramentas são aplicadas nos casos em que os movimentos são muito rápidos, muito lentos ou muito complexos, para permitir que sejam captados pela visão humana. Outra aplicação importante está nos casos em que é necessário registrar concomitantemente os movimentos de diversas partes do corpo (cabeça, testa, cotovelo, mãos, dedos, pés).

Para Baum (1983), as questões mais freqüentemente estudadas com o auxílio das técnicas e ferramentas para o registro de movimentos dizem respeito a velocidades, tempos, deslocamentos, sentido de movimentos e acelerações. Também pode-se observar outros aspectos como cargas e interferências nos movimentos, fadiga e resistência do usuário, extensão de movimentos com os olhos abertos e fechados, precisão, necessidade de espaços, equilíbrio, alcances, alturas de trabalho ótimas, influências da idade e do sexo. Aspectos do

comportamento do usuário também podem ser examinados, como a frequência e a duração de cada tipo de atividade, percentagem do tempo gasto em cada tarefa e subtarefa, a sequência de ações tomadas para completar as subtarefas, tipos de erros e sua frequência. As técnicas de gravação de movimentos permitem, ainda, que sejam avaliadas várias versões ou alternativas de projeto de um produto e comparações com os produtos de outros fabricantes.

De qualquer forma, independente do tipo e quantidade dos dados coletados, estes devem ser reduzidos a uma forma adequada ao uso no projeto do produto. Para isto, é preciso que o grupo defina exatamente o que será observado e para que finalidade. Da mesma forma, precisa definir como transformar os dados coletados em elementos de utilização no planejamento e desenvolvimento de produtos.

O grau de precisão dos dados conseguidos assim como a quantidade destes são definidos pela técnica escolhida para o registro dos movimentos. Porém, antes de selecionar que processo de gravação a equipe utilizará, é preciso que seja determinado o tipo e o montante de informação que se deseja coletar. Da mesma forma, deve-se tomar precauções para garantir que todas as observações ocorram, dentro do possível, de forma desobstruída, caso contrário, o processo de observação e gravação pode influenciar o comportamento do usuário e afetar os resultados do experimento.

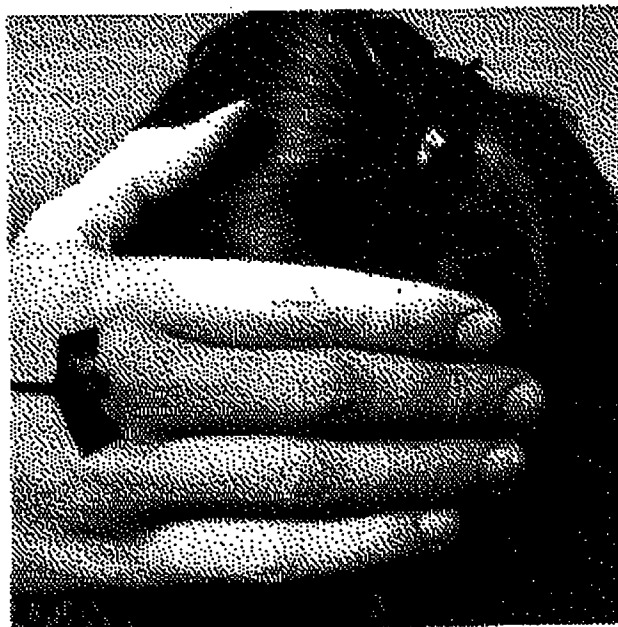
Usualmente, os movimentos em estudo são representados com rastros de luzes em fotografias, imagens de vídeo, através do monitor de um computador ou através de relatórios impressos, onde é apresentada a variação do

movimento através de gráficos em função do tempo. Estes rastros mostram, para um intervalo de tempo de livre escolha, os movimentos de partes selecionadas.

Segundo Samuelson et al (1987), para a gravação dos movimentos do usuário pode-se citar três técnicas : o registro com máquinas fotográficas, registro com câmeras de vídeo e a coleta automática de dados.

O registro com máquinas fotográficas é relativamente simples. A cena para o registro é preparada com todos os elementos que a compõe e pequenas lâmpadas são presas ao usuário que será observado. Estas lâmpadas são fixadas em partes do corpo, cujo movimento, deseja-se analisar. A figura 3.1 detalha estas lâmpadas que estão fixadas na mão e na cabeça da pessoa que participará do teste.

A máquina fotográfica é especialmente regulada para que o diafragma (elemento que permite a passagem da luz para que esta faça o registro no filme) fique aberto durante o tempo que durar a ação ou o tempo que se deseja analisar o evento. Diferentes partes do corpo podem ser observadas utilizando-se lâmpadas de cores diferentes ou então utilizando-se lâmpadas piscantes. No registro da fotografia os rastros ficarão distintos. Ao final, se obterá uma fotografia com os rastros das partes do corpo que se deseja observar bem definidos, como é mostrado na figura 3.2.



Fonte : Baum, 1980

Fig. 3.1 : Detalhe da utilização de lâmpadas para a motografia



Fonte : Baum, 1983

Fig. 3.2 : Rastros registrados na avaliação dos movimentos executados numa bicicleta

O método de registro utilizando-se câmeras de vídeo é similar ao anterior, diferindo na utilização da câmera de vídeo e em marcadores que são pequenos refletores. Este método tem as seguintes vantagens :

- uma permanente gravação de toda a sessão;

- a análise de dados pode ser mais precisa porque os eventos podem ser revistos sempre que uma nova questão surge;

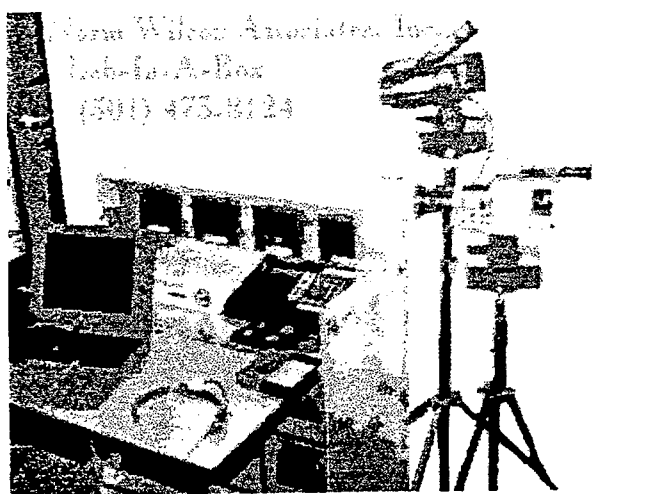
- a análise de dados pode ser mais completa. Pode-se inserir um cronômetro na cena e verificar a duração de diversas subtarefas que formam a tarefa principal ou então utilizando-se recursos, como superposição de imagens, é possível examinar simultaneamente várias gravações do mesmo evento;

- pode-se ver a cena quantas vezes forem necessárias, permitindo uma análise mais detalhada e completa.

Para a obtenção dos rastros é utilizado uma luz intensa próxima à câmera de vídeo. Estes rastros serão identificados na reprodução da fita aumentando-se o contraste no monitor. Com este aumento de contraste, pode-se observar o aparecimento dos marcadores em destaque, visto que toda a cena fica mais escura e a intensidade da luz nos marcadores torna-se muito maior do que nos outros objetos. Porém, o registro utilizando-se câmeras de vídeo apresenta a desvantagem dos refletores não poderem ser distinguidos individualmente e também, quando os refletores estão temporariamente encobertos pelo corpo do usuário, não é possível visualizá-los. A figura 3.3 apresenta um laboratório portátil de gravação de movimentos. Nele pode-se encontrar uma câmera de vídeo, um mixador de vídeo, um mixador de áudio, um microcomputador portátil (laptop) e alguns outros equipamentos que permitem que a análise dos dados seja facilitada.

A coleta automática de dados utiliza sensores, que enviam informações para identificar a posição onde se encontram, e um computador para a coleta e análise dos dados. Estes sensores possuem uma ampla gama de opções de princípios de funcionamento : infravermelho, ultra-som, emissões de rádio, etc.. Este método fornece uma contínua gravação de eventos, e além disso a coleta automática de dados permite :

- codificar através do tempo todos os eventos;
- utilizar muitos sensores, pois as informações serão desmembradas pelo computador para cada parte do corpo;
- apresentar os resultados imediatamente;
- realizar redução de dados e análise estatística;
- realizar procura de dados, para identificar eventos que combinam com critérios específicos.



Cortesia : Man-Made Systems

Fig. 3.3 : Laboratório portátil de gravação de movimentos

Para um melhor desempenho do sistema, devem ser observados alguns aspectos que tradicionalmente estão associados com o registro de movimentos humanos :

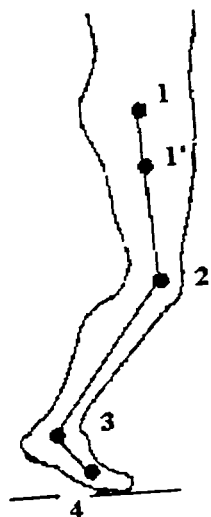
- a posição dos transmissores precisa de uma consideração maior para otimizar a gravação e para eliminar a possibilidade de que outras partes do corpo impeçam a transmissão do sinal,
- verificar a máxima distância de medição,
- se as medidas forem feitas com os transmissores presos à roupa, deve ser lembrado que os resultados fornecidos darão apenas uma aproximação do movimento real.

Abaixo, são apresentados o teste e os resultados destes na análise dos movimentos utilizando-se uma prótese. As figuras 3.4 e 3.5 mostram, respectivamente, a prótese em teste pelo usuário e os pontos de fixação dos transmissores na prótese e no membro natural.



Cortesia : Zebris Medizintechnik

Fig. 3.4 : Prótese em teste com o usuário



Cortesia : Zebris Medizintechnik
 Fig. 3.5 : Pontos de fixação dos transdutores

3.2.1 EXEMPLOS DE FERRAMENTAS PARA O PLANEJAMENTO DE PRODUTOS

O primeiro exemplo faz parte do grupo de ferramentas da Zebris Medizintechnik para análise do movimento em três dimensões. O seu princípio de funcionamento é razoavelmente simples e a empresa possui duas opções de configuração.

Para ambas as configurações o sistema de medição emprega marcadores que são transdutores miniaturizados de ultra-som. Um sensor estacionário composto de 4 microfones para ultra-som recebe os sinais para a determinação do posicionamento do marcador. Em operação, os transdutores de

ultra-som emitem continuamente pulsos e a distância dos microfones é determinada pela medição do intervalo de tempo entre emissão e recepção. As coordenadas absolutas no espaço são calculadas a partir de uma análise trigonométrica.

As opções de configuração diferem entre si pela forma como são transmitidos os sinais para informar ao sistema de que foi iniciado a emissão de um sinal. A primeira apresenta esta transmissão por meio de cabo e a segunda por infravermelho. Os esquemas de montagem são apresentados nas figuras 3.6 e 3.7.

O segundo exemplo é dirigido para a gravação de movimentos através de fotografias. Esta ferramenta não é comercial pois é totalmente montada e a gravação realizada pela equipe de projetos ou por pessoas contratadas para isto e o custo da aquisição dos equipamentos.

Nome comercial : CMS / Zebris Medizintechnik

Custo estimado : US\$ 20.000,00

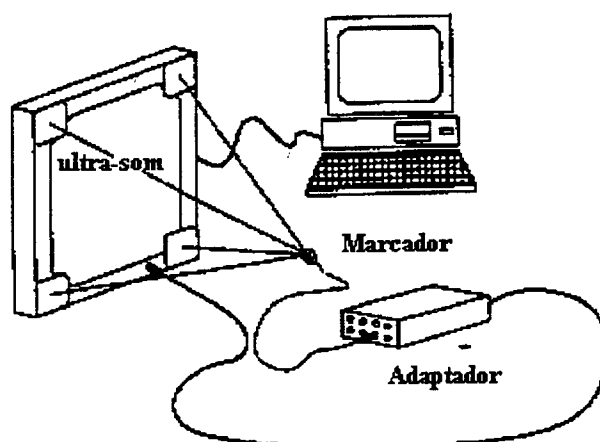
Facilidade de uso : Moderada

Etapas do projeto em que se aplica : Planejamento de produtos. Na análise de pontos fracos (procura de idéias para produtos), para acompanhar o produto no mercado e para realizar o teste do protótipo.

De que maneira a informação é fornecida ao projetista : Através de gráficos com a trajetória da parte (ou partes) do corpo onde está fixado o marcador e gráficos que mostram a variação do ângulo das articulações em função do tempo. Apresenta, também, os movimentos no monitor do computador que está coletando os dados.

Tipos de projeto em que se aplica : Projeto de ferramentas manuais, próteses, estações de trabalho, habitáculos de automóveis, painéis de controle, e em projetos em que o movimento do usuário tem direta relação com o seu desempenho.

Limitações : A utilização desta ferramenta é restrita para ambientes fechados, devido aos equipamentos que realizam a tarefa de coleta de dados não serem adequados para um constante transporte. Outra restrição é a limitação da distância que o usuário pode afastar-se dos equipamentos que realizam a leitura dos marcadores. Os equipamentos que utilizam cabo têm a restrição pelo comprimento destes e os que utilizam infra-vermelho têm a restrição pela sensibilidade dos sensores.



Cortesia : Zebris Medizintechnik

Fig. 3.6 : Configuração utilizando cabo

Nome : Gravação de movimentos com fotografia

Custo estimado : US\$ 1.500,00

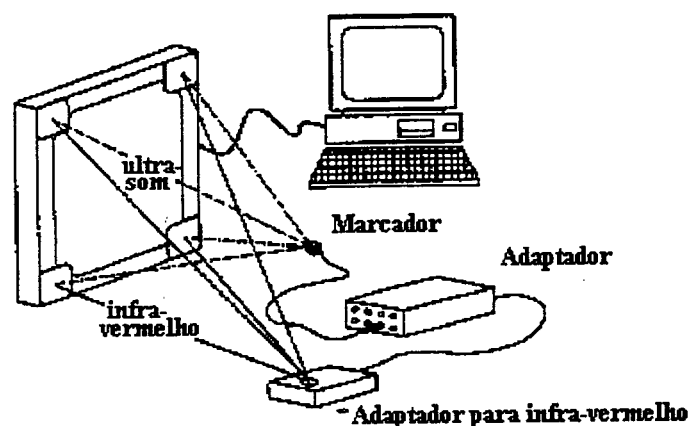
Facilidade de uso : Moderada

Etapa do projeto em que se aplica : Planejamento de produtos. Na análise de pontos fracos (procura de idéias para produtos), para acompanhar o produto no mercado e para realizar o teste do protótipo .

De que maneira a informação é fornecida ao projetista : Através de fotografias que registram os rastros de luz representantes dos movimentos do usuário utilizando o produto.

Tipos de projeto em que se aplica : Projeto de ferramentas manuais, próteses, estações de trabalho, habitáculos de automóveis, painéis de controle, e em projetos em que o movimento do usuário tem direta relação com o seu desempenho.

Limitações : Esta ferramenta deve ser usada em locais e horários em que a luminosidade das lâmpadas, que têm a função de marcadores, seja captada pela máquina fotográfica, por exemplo à noite ou em salas com luminosidade adequada para o registro. Outras restrições encontram-se na distância para o registro, que deve respeitar a sensibilidade do filme, e também da relação entre movimentos, ou seja, a partir da fotografia não é possível observar que movimentos foram realizados simultaneamente e quais não foram.



Cortesia : Zebris Medizintechnik

Fig. 3.7 : Configuração utilizando transmissão por infravermelho

3.3 DIRETRIZES DE PROJETO

As diretrizes de projeto são informações de fácil acesso aos projetistas, que, através delas, coletam dados para serem utilizados especialmente nas fases de projeto preliminar e projeto detalhado. São caracterizadas pelas informações, para o projeto de produtos, sobre os valores relativos ao homem. Estes valores podem ser : nível de ruído, medidas antropométricas do usuário, arranjos e especificações de objetos que entram em contato físico com o usuário, recomendação de cores, etc..

As diretrizes de projeto apresentam a vantagem de terem um custo baixo, serem de fácil uso e de fácil aquisição, não havendo maiores dificuldades para a obtenção das informações, que encontram-se em manuais e normas técnicas. Têm a restrição de poderem ser contraditórias, necessitando, desta

forma, que a equipe de projeto tenha bem entendido a necessidade do usuário, para que possa optar entre as alternativas encontradas.

A utilização de diretrizes no projeto de produtos permite que sejam inseridas muitas informações relativas ao usuário, reduzindo o número de interações no projeto (análise e síntese) e o montante de testes necessários para se alcançar um resultado satisfatório. Assim como, agiliza o processo de convergência para um ponto aceito como comum, reduzindo o tempo de desenvolvimento e os custos.

Estas ferramentas são as mais utilizadas e difundidas entre as equipes de projeto preocupadas com o aspecto humano. Por serem utilizadas na fase de projeto preliminar e projeto detalhado, estas basicamente necessitam de um conhecimento prévio do tipo de interface que vai ser utilizada e de que maneira vai ser acionada. A partir desta informação é especificada qual a informação mais adequada àquela necessidade, visto que alguns casos chegam a ser conflitantes quando a aplicação de um mesmo objeto é utilizada para usos distintos. Ao final, tem-se um objeto com suas dimensões definidas juntamente com ao seu posicionamento e arranjo.

As diretrizes de projeto são encontradas em : normas, listas de dados antropométricos e recomendações para o projeto.

3.3.1 NORMAS

As normas são freqüentemente entendidas para serem adotadas sem interpretação ou modificação. São elaboradas e controladas por órgãos do governo de cada país (ABNT no Brasil, DIN na Alemanha, etc.). Algumas destas normas são obrigatórias, e a não concordância pode causar problemas judiciais e a proibição do lançamento do produto no mercado.

As normas regulamentam a intensidade de ruídos que produtos podem emitir, emissão de partículas, emissão de radiação, umidade relativa e outros itens que estão diretamente relacionados com o conforto do usuário.

Porém, as normas contém restrições quanto à sua utilização. Alguns itens apresentam declarações de uma maneira bastante vaga, permitindo uma interpretação errônea. Conforme pode ser comprovado na Norma Regulamentadora 17 da Consolidação das Leis do Trabalho, subitem 17.2.4 :

"Com vistas a limitar ou facilitar o transporte manual de cargas, deverão ser usados meios técnicos apropriados."

A declaração *meios técnicos apropriados* não permite que projetistas visualizem ou percebam o grau de adequação destes meios ao homem. Falta a esta norma uma declaração mais explícita, para que as interpretações sejam menos difusas. Outro fator, que limita a aplicação das normas, é a falta de dados atuais, que faz com que progressos tecnológicos sejam considerados muito posteriormente ao seu desenvolvimento.

Por outro lado, segundo Rogers e Armstrong (1977), a busca por um aperfeiçoamento das normas pode forçar produtos que atendam a elas a uma subotimização em alguns aspectos ergonômicos, pois as normas poderão atingir uma abrangência que não permitirá, aos projetistas, a possibilidade de criar novas alternativas. Apenas uma parte do conhecimento em Ergonomia pode ser colocado como absoluto, ou seja, aplicável para quaisquer tipo de produto. O que deve ser buscado, pelos órgãos responsáveis pela regulamentação, é um estágio onde são garantidos ao usuário elementos básicos para a sua segurança e seu conforto.

Contudo, apesar das normas apresentarem as limitações mencionadas acima, estas fornecem ao projetista, mesmo que deficientemente, algumas informações básicas para direcionar o processo de projeto. Equipes de projeto sem muitos recursos para desenvolver um levantamento de dados adequado, podem utilizar as normas para servir de base para a realização de seu projeto. Porém, independente desta situação, todos devem respeitar as normas.

De qualquer maneira, tanto equipes de projeto de grandes corporações como de pequenos escritórios, devem procurar superar o que é solicitado em norma. Para que seus produtos não sejam desenvolvidos apenas para atender às normas e sim, desenvolvidos para que sejam adequados aos seus usuários.

3.3.2 DADOS ANTROPOMÉTRICOS

Os dados antropométricos são dados relativos à medida de segmentos do corpo humano. Estas medidas são os comprimentos de todos os itens relativos ao corpo humano, como braços, pernas, ombros, quadris, etc., assim como suas larguras, espessuras, etc.. Estes dados formam a base para a ajuda do desenvolvimento metodológico de produtos, porém não possuem a qualidade de serem diretamente aplicáveis ao projeto. Os dados precisam ser interpretados para que sejam transformados em informações com aplicação direta no projeto do produto. Para que isto seja possível, é preciso um conhecimento mais amplo das necessidades do usuário, para que, a partir dos dados antropométricos, sejam determinadas as dimensões do produto como um pegador, a altura de superfícies de trabalho, espaço entre controles, etc..

Entre os dados antropométricos também pode-se encontrar dados biomecânicos, que são referenciados basicamente à capacidade muscular humana. Estes são úteis quando são estabelecidas as dimensões e os pesos dos produtos que podem ser erguidos e transportados, por exemplo.

Uma forma bastante difundida de apresentação de dados antropométricos, é a utilização de bancos de dados para a utilização em computadores. Neste caso, além de agilizar e organizar o trabalho de busca, estes softwares permitem a criação de manequins em três dimensões compatíveis com o ambiente CAD. Nestes bancos de dados, existem valores antropométricos e biomecânicos referentes a vários biotipos, assim como características de sexo,

cor, idade, etc.. No banco de dados concebido por Moro (1993), assim como na maioria dos sistemas, é ainda permitido que o usuário acrescente informações ao banco de dados, possibilitando a montagem de subgrupos a partir de suas próprias pesquisas, e também trabalhar com partes isoladas do corpo, cabeça, mãos e pés. Fernandez et al (1990), apresentam o ErgoCAD como sendo uma biblioteca de dados antropométricos de homens e mulheres acoplada ao software AutoCAD. Esta biblioteca foi desenvolvida para permitir que projetistas determinem as dimensões apropriadas de cadeiras, superfícies de trabalho e altura de prateleiras para uma dada população, o que é uma restrição quando o objetivo é desenvolver produtos que apresentam outros elementos.

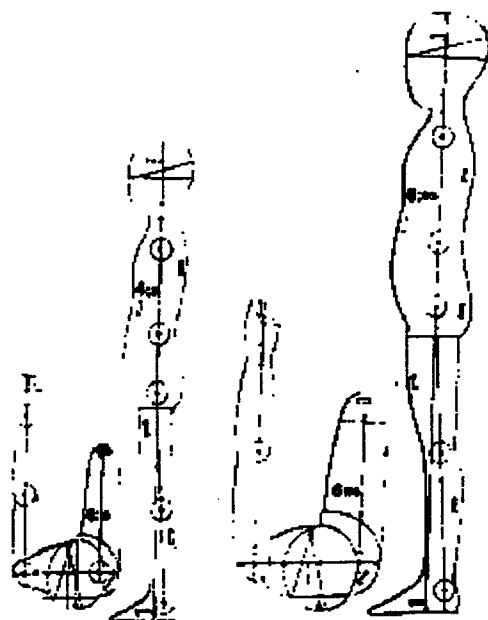
A maneira mais prática de utilização de dados antropométricos, utilizando-se os métodos de desenho com réguas e esquadros, é através do uso de gabaritos em plástico transparente. Estes ilustram dados antropométricos através de uma figura plana que representa o corpo humano em uma escala pré-determinada para a realização de estudos bi-dimensionais sendo representados em vista lateral, vista frontal e vista superior, e são comumente preparados em uma faixa de tamanhos e escalas para o uso pela equipe de projetos. Há também uma diferenciação por sexo e por outros fatores que definem a forma humana. São usualmente construídos em plástico transparente, material equivalente ao utilizado na confecção de esquadros.

Os gabaritos possuem as seguintes vantagens : apresenta os dados antropométricos de uma maneira bastante prática, simplicidade no uso e baixo custo de aquisição. Porém, atualmente, a utilização de material para o desenho do

projeto está concentrando-se em microcomputadores, o que restringe o uso destes gabaritos no processo de desenvolvimento do produto.

Nos gabaritos apresentados por Nowack (1989), cada modelo fornece informações gravadas em sua superfície sobre a que grupo de usuários se refere, e o percentil que representa. Para a sua utilização, existem orifícios no qual possibilitam colocar a figura em uma posição ou mover um segmento do corpo que se deseja; o manequim é fixado com uma ponta seca ou um pino no orifício, que trabalha como o eixo de rotação de uma articulação, e então o gabarito é rotacionado para a verificação dos valores em estudo.

Com estes gabaritos é possível simular os movimentos das seguintes articulações : ombro, cotovelo, pulso, quadril, joelho e tornozelo. Outros movimentos também são considerados : movimentos da cabeça, movimentos do pescoço e movimentos do tronco.



Fonte : Nowack, 1989

Fig. 3.8 : Gabaritos em plástico transparente representando o 5. e o 95. percentil de crianças inglesas de 4 a 6 anos

3.3.3 RECOMENDAÇÕES PARA O PROJETO

As recomendações para o projeto são conhecimentos pragmáticos fundamentados em : dados empíricos, expectativa do usuário (baseada em questionários), modelos do comportamento humano, raciocínio dedutivo a partir de fatos conhecidos, opinião de especialistas, etc.. Procuram focar a atenção do projetista no usuário e fornecem uma base para fazer decisões iniciais no projeto em áreas como a seleção de controles e displays, arranjo de componentes, rotulação, codificação utilizando cores e programação visual.

As recomendações apresentam-se freqüentemente na forma de declarações textuais onde indicam quais faixas de valores são preferenciais, como ângulo de pedais, altura de bancadas, posicionamento do operador em determinado aparelho e/ou equipamento, etc.. São também encontradas na forma de ilustrações onde indicam, diretamente na figura, os valores recomendados ou a faixa de valores.

Dependendo do caso, as recomendações podem ser pouco específicas e requererem que a equipe de projeto observe a sua aplicabilidade em cada contexto específico. Devido a isto, duas ou mais recomendações podem parecer contraditórias, ou então, são impedidas de serem simultaneamente aplicadas, tanto por restrições de projeto como por contradições entre si. Por exemplo, uma recomendação declara que o tamanho mínimo recomendado de letra para rótulos deve ser de determinado tamanho. Outra estabelece que todos os rótulos devem ser orientados na horizontal. Se o espaço for insuficiente para

uma orientação horizontal e tamanho de letra recomendado, qual recomendação o projetista deve seguir ? Antes de qualquer tomada de decisão, a equipe deve definir o que é mais importante no item em questão, para que no caso de um problema semelhante, saiba avaliar qual das alternativas é a mais adequada, assim como avaliar as conseqüências de cada escolha para que a decisão seja a melhor possível.

Devido a este problema, em alguns casos, é preciso uma boa experiência em projeto para que sejam selecionados os valores mais apropriados entre os sugeridos pelas recomendações de projeto. Isto é confirmado pela opinião dos projetistas nos questionários. Em suas respostas, alguns projetistas ressaltaram a dificuldade em selecionar, entre as disponíveis, a recomendação mais apropriada e indicaram que a experiência é fundamental para esta seleção. Segundo Sanders e McCormick (1987), para a realização desta seleção é preciso que sejam feitas algumas considerações :

- Deve-se observar inicialmente a significância prática da aplicação dos dados apresentados. Por exemplo, embora o tempo requerido para utilizar o controle A seja menor (estatisticamente) que para o controle B, a diferença deve ser desprezada, se outros fatores como custos vão contra;

- Alguns dados encontrados em recomendações são baseados em descobertas de pesquisas com algumas variáveis controladas, portanto deve-se observar a validade destes valores quando utilizados em outras situações;

- Deve-se observar a gravidade dos riscos ligados a uma má escolha. Como por exemplo, o projeto de uma cabine que vai ficar em órbita, neste caso há vidas envolvidas e uma má escolha incorrerá em um risco muito alto à vida dos tripulantes. Quanto mais sérios os riscos, maior a necessidade de dados relevantes e de alta qualidade e, portanto, mais próximos da aplicação específica.

- É importante considerar um balanceamento entre as recomendações, visto que não é possível atingir um ponto ótimo em todos os critérios possíveis em um projeto, de alguma maneira algum item deverá ser desconsiderado. O possível resultado de uma característica (sugerido como resultado de uma pesquisa) deve ser sacrificado, pelo menos em parte, por algum outro resultado mais desejável.

Baseados nos problemas para a seleção das recomendações, Rogers e Armstrong (1977) declaram que estas podem ser melhoradas se as seguintes sugestões forem incorporadas :

- Eliminar termos gerais ou que permitam uma interpretação ambígua, como sensibilidade adequada ou alto torque;

- Apresentar dados quantitativos de maneira consistente, utilizando gráficos e desenhos inicialmente (por transmitirem mais facilmente a mensagem) e em seguida tabelas;

- Eliminar o uso de declarações em forma de narrativas quando os dados podem ser apresentados quantitativamente;

- Procurar eliminar possíveis discordâncias entre recomendações;
- Realizar revisões e atualizações, das recomendações, de uma maneira mais freqüente.

Na prática, observa-se que a direta aplicação de qualquer recomendação é raramente satisfatória. Uma melhor aproximação é considerar cada tarefa e, quando possível, a iteração das variáveis da tarefa de uma forma sistemática. O problema pode ser resolvido, em alguns casos, se uma consideração cuidadosa na utilização de cada uma das declarações for realizada, assim como, através da utilização detalhada dos fatores que estão apresentados.

3.3.4 EXEMPLOS DE FERRAMENTAS UTILIZADAS COMO DIRETRIZES DE PROJETO

Dados Antropométricos - No Brasil foi desenvolvido pelo Instituto Nacional de Tecnologia (INT), órgão do Ministério da Ciência e Tecnologia, através da Unidade de Programas de Desenho Industrial (UPDI), o banco de dados antropométricos denominado **Ergokit**. Este banco de dados é composto por quase todas as ferramentas apresentadas no grupo *Dados Antropométricos*. Possui um software contendo classificação, valores e descrições de variáveis antropométricas; 4 gabaritos articulados, na escala 1:5, confeccionados em material termoplástico (PVC cristal) representativos dos percentis 5. e 95. de homens e mulheres; placas com manequins antropométricos nas escalas 1:10 e

1:20 e manuais. Este trabalho, infelizmente, está limitado aos grupos que foram pesquisados para a coleta dos dados porque não são representativos da população brasileira. Estes grupos são :

- operários da indústria de transformação do Rio de Janeiro (amostra - 3100 homens);
- digitadores do SERPRO do Rio de Janeiro e São Paulo (amostra - 202 mulheres e 203 homens);
- telefonistas da TELERJ do Setor de Auxílio à Lista (amostra - 64 mulheres);
- militares do exército, ligados ao Comando Militar do Leste, Rio de Janeiro e Minas Gerais (amostra - 1080 homens).

Nome comercial : Ergokit

Custo estimado : US\$ 385,00

Facilidade de uso : Boa

Etapa do projeto em que se aplica : Desenvolvimento de produtos. Na etapa de projeto preliminar (fixação das manifestações do produto) e na etapa de projeto detalhado (fixação definitiva das manifestações do produto e dos seus elementos).

De que maneira a informação é fornecida ao projetista : Através da descrição de variáveis antropométricas, utilização de gabaritos articulados na escala de 1:5 (com os percentis 5. e 95. de homens e mulheres) e placas com manequins antropométricos nas escalas 1:10 e 1:20.

Tipos de projeto em que se aplica : Devido a que este tipo de ferramenta se apresenta em uma forma bastante básica, a sua aplicação é possível em todos os tipos de projeto em que se objetiva atender aos grupos de usuários pesquisados para a montagem do banco de dados.

Limitações : Esta ferramenta tem o seu uso restrito para o projeto de produtos que visem o grupo de usuários pesquisado. Isto ocorre devido à pesquisa antropométrica não ter sido ampliada para uma população de usuários representativa da população brasileira.

Recomendações para o projeto - As recomendações para projeto apresentam-se em livros específicos para o projeto ergonômico, como os trabalhos de Woodson e Conover (1964), Grandjean (1980), Meister (1985), Burgess (1986) e Sanders & McCormick (1987). E variam entre si pelo enfoque que é dado. Alguns destes trabalhos estão voltados para aplicações militares e outros para produtos em geral, entretanto, este enfoque não restringe a sua aplicação.



Fonte : Woodson e Conover, 1964.

Fig. 3.9 : Recomendação para o projeto de um pedal

Nome : Recomendações de projeto

Custo estimado : US\$ 150,00

Facilidade de uso : Boa

Etapas do projeto em que se aplica : Desenvolvimento de produtos. No projeto conceitual, na etapa de projeto preliminar (fixação das manifestações do produto) e na etapa de projeto detalhado (fixação definitiva das manifestações do produto e dos seus elementos).

De que maneira a informação é fornecida ao projetista : Através de tabelas e/ou de figuras indicativas dos valores recomendados para cada elemento do produto que está sendo desenvolvido.

Tipos de projeto em que se aplica : Devido a que este tipo de ferramenta se apresenta em uma forma bastante básica, a sua aplicação é possível em todos os tipos de projeto em que se objetiva atender aos grupos de usuários pesquisados para a montagem do banco de dados.

Limitações : As limitações para o uso das Recomendações para o Projeto são as contradições que podem ocorrer quando estas vão ser utilizadas no projeto do produto. Nas recomendações, não existem elementos que prevêm as contradições e estas surgem quando duas ou mais recomendações são confrontadas com as condições do projeto. Além disso, algumas recomendações foram elaboradas a partir de dados antropométricos da população de outros países, porém na ausência de recomendações voltadas para o povo brasileiro, a utilização de outras recomendações torna-se permissível desde que seja realizada com critérios.

3.4 FERRAMENTAS PARA TESTE E REFINAMENTO

As ferramentas para teste e refinamento possuem uma grande variedade em sua apresentação. Utilizam-se de diferentes técnicas e metodologias para verificar o projeto do produto. São utilizadas para auxiliar na análise da interação do homem com o produto e, a partir dos resultados desta análise, conseguir informações para modificações e uma esperada melhoria no projeto do produto. São utilizadas para as constantes atividades de análise e síntese que são necessárias no projeto ergonômico. Por este motivo é que receberam a denominação de Ferramentas para Teste e Refinamento.

Estas ferramentas devem ser utilizadas na fase de projeto preliminar, pois é nesta fase que se inicia a definição das manifestações do produto. Isto implica que serão observadas algumas relações do homem com o produto e, a partir destas observações, serão propostas alterações. Os resultados poderão ser mudanças : de dimensões, localização de componentes, dos sentidos de movimento.

Conforme foi ressaltado no item anterior, as recomendações de projeto nem sempre trazem a informação exata que o projetista está precisando. Assim sendo, é necessário que análises sobre as proposições feitas no projeto preliminar e no projeto detalhado, devem ser realizadas com a ajuda das ferramentas listadas neste item. Da mesma forma, as decisões tomadas nas etapas anteriores do projeto podem ser verificadas por estas ferramentas.

O objetivo destas análises é aprimorar o projeto no aspecto ergonômico e identificar qualquer problema óbvio ou com possibilidade de ser previsto antes de se iniciar a construção do protótipo. Desta forma, quando a avaliação do protótipo for realizada, a equipe já terá alguns itens do produto bem elaborados permitindo que seja conduzida uma análise mais profunda em outros elementos, ou que seja conduzida em um intervalo de tempo menor.

As avaliações realizadas são testes para a verificação da facilidade de uso do produto. Estes testes são freqüentemente conduzidos em um laboratório ou outros ambientes controlados. Segundo Berns (1984), o desenvolvimento formal destes testes consiste de quatro etapas :

- construção do modelo ou modificação do modelo existente;
- seleção das diversas tarefas;
- seleção de pessoas (amostra representativa de usuários) ou utilização de manequins que têm as mesmas características dos usuários pretendidos do produto;
- observação e medida dos resultados nas tarefas selecionadas.

Quando os testes já tiverem sido realizados, os dados obtidos serão analisados para a identificação dos efeitos desejáveis (projeto adequado) e efeitos indesejáveis (necessita de refinamento) no projeto do produto. Este é um processo iterativo de reprojeto, análise e síntese, que segue até que a performance seja satisfatória nos critérios estabelecidos pela equipe de projeto. Para a obtenção de resultados mais precisos, é necessário que, após o último ciclo desta

iteração, seja realizado um teste de verificação no ambiente real de uso, com pessoas pertencentes ao grupo de usuários almejado.

A precisão dos resultados e o tempo necessário para conseguir realizar as análises é função do tipo de ferramenta que será utilizada pela equipe de projeto. Neste trabalho, as ferramentas para teste e refinamento foram divididas em dois tipos ou grupos : ferramentas não computacionais e ferramentas computacionais.

3.4.1 FERRAMENTAS NÃO COMPUTACIONAIS

As ferramentas não computacionais são as de menor custo dentre as utilizadas para o teste e refinamento. São caracterizadas por representar o produto que está sendo desenvolvido com materiais de fácil aquisição, baixo custo e fácil manipulação (ex: papelão, isopor, madeira) , e por representar o usuário utilizando manequins. Porém, esta característica de baixo custo implicará em atividades mais longas e resultados não tão satisfatórios em termos de precisão.

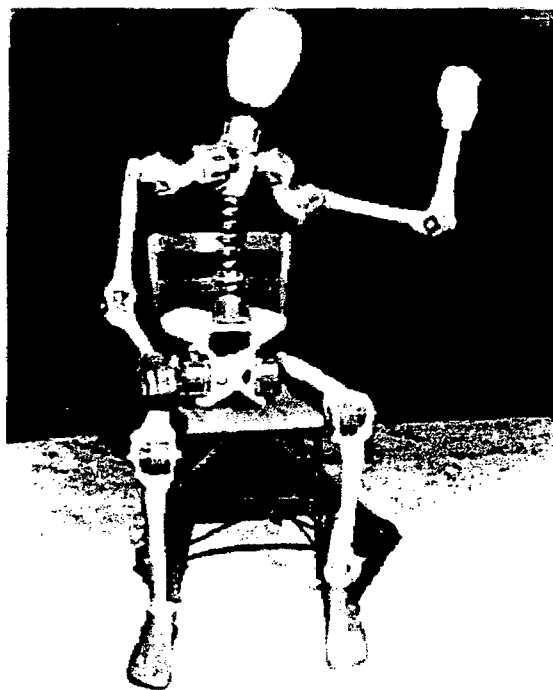
Entre estas ferramentas estão : manequins, desenhos em escala real, modelos em escala reduzida (maquetes) e mock-ups. Os manequins têm a finalidade de representar o usuário e são utilizados juntamente com as outras ferramentas citadas, possuindo as mesmas medidas antropométricas do grupo de usuários desejados.

Segundo Roebuck et al (1975), estes manequins são geralmente construídos para ter uma distribuição de peso e pontos de articulações baseados em dados antropométricos. Alguns podem vir a ter carne simulada, ossos e ação muscular, como por exemplo em testes de acidentes automobilísticos, testes para fins militares e teste de equipamentos de proteção (como capacetes e coletes a prova de balas). Na figura 3.10, é mostrada a figura de um manequim com algumas articulações e com as medidas de um grupo de usuários.

Dependendo da aplicação, os manequins podem ter características particulares ao uso que será feito na análise do produto. Por este motivo, podem ter uma grande variedade de tamanhos, articulações e outras características especiais. Por exemplo, resistência a níveis conhecidos para forças de aceleração pode ser incorporado pelo uso de juntas de fricção, e limitadores de movimento para avaliar o alcance em painéis. Instrumentos podem ser inseridos na cabeça, tórax e outras cavidades do corpo, para medir acelerações, esforços e outros fatores que a equipe julgar necessário. Materiais especialmente selecionados para os ossos e superfícies podem ser utilizados para indicar fraturas e impactos locais.

Para a construção destes manequins, necessita-se de uma grande quantidade de dados relativos ao homem como por exemplo resistência de ossos, flexibilidade, ângulos limites de movimentação, distribuição de pesos, momentos de inércia, densidade, entre outros. Além disso, a manutenção destes manequins deve ser levada em consideração devido ao seu custo de construção. Para que este seja reduzido, deve ser considerada a sua reutilização em outros projetos. Na

opinião de projetistas, que responderam ao questionário enviado, estes manequins são difíceis de se construir e, muitas vezes, têm um custo muito alto.



Fonte : Roebuck et al, 1975

Fig. 3.10 : Manequim articulado

Para representar o produto, segundo Woodson e Conover (1964), pode-se utilizar os seguintes recursos :

Desenhos em escala real - é a forma mais simples de representar o produto, porém são restritos apenas para a representação de painéis ou para o arranjo de controles. Nele o projetista apresenta, em um desenho plano, a base na qual serão alocados os comandos e/ou os displays e alguns elementos que já têm a sua localização definida, que serão desenhados diretamente nesta base. Os itens que ainda estão indefinidos são arranjados conforme a equipe achar mais adequado. Após estes

passos, utilizando-se um manequim ou uma pessoa que tenha as características do grupo, é feita uma análise de alcance. Se for encontrado algum problema, os itens indefinidos são colocados em um novo arranjo e então é feita nova análise. Esta forma de trabalho é bastante simples, porém permite a obtenção de poucos dados e não possibilita a interação com outros fatores.

Modelos em escala reduzida - é usado para testar o arranjo de equipamentos e analisar o homem em relação ao produto. Embora muito menos precisos do que em representações reais (escala 1:1), modelos em escala reduzida podem ser construídos para demonstrar relações de volume, limitações do espaço de trabalho, relações com outros elementos do ambiente, etc.. Estes modelos têm muitas vantagens : facilidade de transportar e de guardar, rapidez na construção, baixo custo, visualização do arranjo de móveis e equipamentos.

Mock-ups (modelos em escala real) - são modelos não funcionais do produto que está sendo desenvolvido. São usualmente construídos em papelão, madeira ou outro material barato, de fácil substituição e que seja trabalhado facilmente. O nível de detalhe depende da simulação e avaliação estática que foram planejadas. Para a avaliação antropométrica, são utilizados os dados mais significantes para a relação homem-máquina. Nesta avaliação, é observado o usuário realizando movimentos de tarefas típicas e exercendo forças para que sejam avaliadas posições e posturas.

Estas ferramentas são utilizadas para testar a possibilidade de conceitos específicos para o projeto. As avaliações, que podem ser estáticas ou dinâmicas, são conduzidas por especialistas ou através do uso de técnicas de simulação.

As avaliações estáticas devem ser conduzidas com a ajuda de checklists, no qual a equipe verifica as tarefas realizadas pelo usuário, observando o atendimento dos requisitos de projeto. As simulações ou avaliações dinâmicas consistem de uma observação passo-a-passo de cada tarefa que o usuário irá realizar. Estas avaliações dinâmicas freqüentemente revelam problemas que não podem ser identificados com uma avaliação estática. Em alguns casos, é apropriado ter usuários representativos (pessoas com as mesmas características do usuário do produto), ao invés de manequins, para participar das avaliações, pois os usuários fornecem dados subjetivos em relação ao produto testado.

3.4.2 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

As ferramentas computacionais são utilizadas para realizar uma avaliação prévia de sistemas homem-máquina em um tempo menor e com um custo, a médio e longo prazo, também menor em relação às ferramentas não computacionais. Do mesmo modo, utiliza-se estas ferramentas quando as

mudanças nos equipamentos são problemáticas, ou o teste diretamente com o usuário pode ser impraticável, caro, perigoso ou ilegal.

As ferramentas computacionais facilitam o trabalho de análise fornecendo recursos através de :

- um esquema de modelamento, em três dimensões, e análise através do monitor do computador;
- uma representação tridimensional da forma humana que pode ser variada antropometricamente e biomecanicamente para representar a população de usuários;
- um grupo de técnicas para a avaliação da capacidade humana, baseadas no modelo humano, permitindo realizar análises de alcance, visão e adaptação;

Segundo Rothwell e Hickey (1986), as ferramentas computacionais apresentam-se em três classes distintas : softwares de animação, softwares para antropometria e softwares de biodinâmica. Softwares de animação trabalham com figuras humanas movimentando-se em tempo real. São utilizadas na visualização de sequências de movimento com o objetivo de preparar atletas, corrigir posturas e para fins fisioterápicos. Softwares antropométricos dirigem-se a características estruturais (ex.: dimensões de segmentos, proporções, localização de articulações, cinemática) e funcionais (ex.: alcance, visão, espaço livre) do corpo humano. Softwares biodinâmicos aplicam princípios antropométricos para a modelagem de efeitos de forças internas (ex.: força muscular, trabalho, potência) e forças externas (ex.: forças de reação, aceleração, cargas externas) ao corpo. Os

softwares biodinâmicos são de particular interesse no estudo de acidentes, ejeção em aviões de guerra e ambientes em que as pessoas envolvidas sofram fortes acelerações.

Usualmente os programas de animação consideram o homem em isolamento e apresentam o ambiente apenas para ilustrar e servir de fundo para fins de observação da escala. Programas antropométricos e biodinâmicos simulam a interação do homem com o ambiente, no qual estará incluso o produto a ser analisado.

As ferramentas computacionais são as mais sofisticadas para a avaliação homem-máquina e de maior utilidade para o projetista, pois seu uso no projeto de produtos implica em : (1) organização e redução de dados estatísticos, (2) melhor procura de hipóteses, pela descoberta de novas relações e (3) teste de hipóteses, através do modelamento e simulação. Além das vantagens apresentadas acima, estas ferramentas têm potencial para que possuam, em seus bancos de dados, as informações presentes nas ferramentas apresentadas no grupo de *Diretrizes de Projeto*, com exceção dos dados antropométricos que já são encontrados. Porém, acredita-se que estas informações ainda não estão inseridas por questões de mercado. Com a configuração atual, esta ferramenta atende tanto a projetistas quanto aos ergonomistas.

As ferramentas computacionais permitem um acesso mais rápido à base de dados com valores antropométricos, constroem o modelo do produto em um tempo muito menor que as ferramentas não computacionais e representam mais adequadamente a população de usuários. Estas permitem, ainda, que esse

processo seja repetido diversas vezes sem que haja um atraso no cronograma de projeto, pois seu uso é bastante rápido.

Utilizando a modelagem através do computador, as características físicas do homem podem ser descritas em um nível apropriado para a análise a ser realizada. Por exemplo, um modelo de uma parte do corpo (as mãos) pode ser aplicado quando partes isoladas do corpo são de interesse e quando interferências entre segmentos (mão e antebraço) não gerarão conseqüências. Assim como, é possível utilizar um modelo de corpo inteiro para avaliação.

As ferramentas computacionais, representam o homem, tridimensionalmente, por uma das três maneiras seguintes : stick-figure (figura palito), superfície ou volume. As representações com stick-figure ou figura palito, fornecem uma visualização efetiva dos movimentos dos segmentos de todo o corpo e permitem que o sistema trabalhe a uma velocidade de processamento maior, devido não usar muito da capacidade do hardware. Porém, devido à forma externa do corpo humano não ser representada, as posições relativas e as rotações dos segmentos do corpo não são possíveis de se distinguir.

Avaliações baseadas em distâncias como alcance e interferência visual requerem uma complexidade maior na representação do modelo humano. Por este motivo, utiliza-se os modelos de superfície ou volume, que geralmente são modelados através da construção de superfícies (planas ou curvas) a partir da stick-figure. Esta serve de base para que o software aumente-a de volume para que atinja os valores contidos no banco de dados. Estas representações fornecem um realismo muito maior e permitem que se faça uma análise mais precisa,

porém, por trabalhar com figuras mais complexas, o trabalho se torna mais lento que com as stick-figures. Aconselha-se que seja utilizado, inicialmente, as figuras palito para posicionar o modelo na posição desejada e então realizar a análise com as figuras de volume. A figura 3.11 apresenta as três possibilidades de modelamento humano.

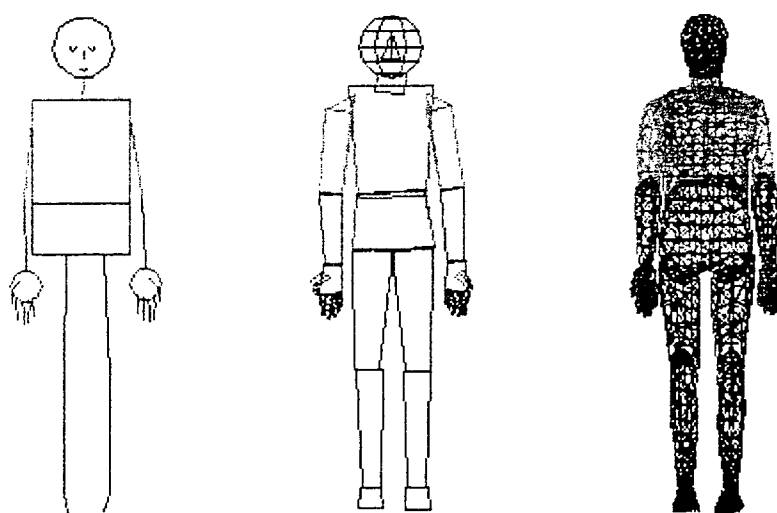
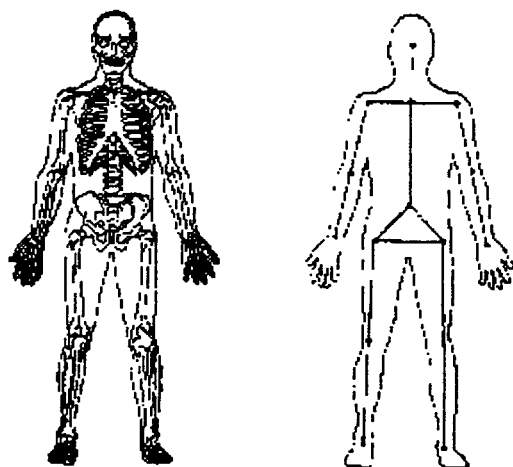


Fig. 3.11 : Representação por stick-figure, superfície e volume

Do ponto de vista computacional, é mais simples e eficiente, modelar o homem como uma série de partes conectadas, do que representar todas as articulações existentes no corpo humano. Cada parte pode representar um segmento do corpo em respeito a um ou mais dos seguintes aspectos : comprimento, espessura, largura, circunferência, volume, densidade, massa e modelamento interno de ossos, músculos, ligamentos, gordura subcutânea e pele.

Calvert et al (1982) afirmam que o corpo humano pode ser modelado adequadamente utilizando 23 segmentos, omitindo-se os detalhes das

mãos e dos pés. Na figura abaixo, são ilustradas algumas das principais articulações que são representadas no modelamento do homem.



Fonte : Case et al, 1991

Fig. 3.12 : Modelo humano

Em alguns modelos computacionais do homem é utilizada uma única parte para representar separadamente a cabeça e o pescoço, o braço e o antebraço, a coxa e a perna. Os ombros, tronco, mãos e pés são modelados de uma forma diferente à anterior. As múltiplas articulações do tronco são usualmente representadas pela utilização de duas ou mais partes para representar as porções da coluna vertebral. Os quadris são representados por apenas uma única parte sólida ou então por duas partes. Apesar de alguns programas apresentarem o modelamento dos ossos das mãos e dos pés, a maioria das aplicações para projeto não requerem a sua representação de forma tão detalhada como estes realizam.

Ao inicializar estes programas, é solicitado que o usuário especifique as características antropométricas que o modelo irá apresentar, estas

características são : sexo, grupo étnico, idade, percentil e tipo de corpo. Os parâmetros para cada segmento do corpo no modelo são extraídos de uma base de dados o qual contém : definições da população de usuários em termos de dimensões lineares entre articulações adjacentes (ex.: do joelho ao tornozelo), parâmetros relativos ao peso e centro de gravidade e limites absolutos e normais dos ângulos de cada articulação. Assim como nos bancos de dados antropométricos, esta base de dados permite a inserção de novos valores.

Ainda é possível que seja montado um modelo mesclando as bases de dados, procurando desta forma atender a dois ou mais grupos de usuários. Esta função permite que a equipe de projeto realize várias análises distintas, incorporando todos os dados que achar relevante, ganhando tempo na realização da análise.

Após a seleção do modelo, o usuário deve especificar a posição que o modelo humano assume dentro do ambiente. Vários programas oferecem métodos automatizados para fazer isto, incluindo : padrões de posturas e posições do usuário (armazenados na memória do computador), pontos chaves aceitos, algoritmos de otimização que posicionam o modelo para o melhor alcance, visão e/ou aproveitamento do espaço. Alternativamente, o usuário pode alterar o modelo manualmente, modificando os ângulos das articulações e posicionando-o na postura que desejar.

Para evitar o modelamento de dimensões, posicionamentos e/ou movimentos não naturais, os programas têm checagens que avaliam se os

princípios de modelamento não foram violados ou que os dados estão fora dos limites normais.

Pode ser feita uma análise de torque das partes do corpo, que, em alguns programas, gera um gráfico para o torque das diferentes articulações nas diferentes tarefas realizadas. Esta análise limitada para as articulações, ao invés dos grupos musculares, facilita o trabalho computacional porém restringe a aplicabilidade dos softwares. De qualquer maneira, esta abordagem é suficiente para os propósitos gerais da análise de produtos.

Alguns programas modelam os limites fisiológicos máximos impostos pela estrutura do corpo humano. Se limites de conforto forem incorporados, posições do corpo que irão induzir à fadiga ou à insatisfação por parte do usuário farão com que o software indique a ocorrência deste fato. Desta forma, ambos os critérios, para analisar o projeto, objetivos e subjetivos podem ser satisfeitos.

Nas ferramentas computacionais, estão disponíveis algoritmos de alcance, estes predizem uma postura viável para uma seqüência de segmentos como os braços ou as pernas. Para isto, o usuário do programa indica um ponto a ser alcançado dentro do modelo através : do uso do mouse, da determinação de pontos conhecidos em itens do modelo (que receberam uma denominação anterior) ou com a especificação de coordenadas em três dimensões (x,y,z). Então, a extremidade do corpo selecionada é levada a coincidir com este ponto, e uma a das articulações é registrada. Em geral, existe um número de infinitas posturas possíveis para cada ponto e modelo humano criado. Porém, o algoritmo

seleciona a postura a ser apresentada, observando minimizar a extensão das articulações além da sua posição neutra.

As ferramentas computacionais permitem que sejam modeladas restrições tanto ambientais como fisiológicas da visão humana. O campo visual humano pode ser representado como uma área cônica, tendo o seu vértice no ponto em que a visão está direcionada. Áreas de acuidade dentro do campo podem ser definidas, com uma progressiva obscurescência para a periferia. Pela alocação de objetos alvos e/ou do modelo dentro do ambiente, o projetista pode observar se requisitos em relação a aspectos visuais estão sendo atendidos.

Estes programas também permitem considerar o uso de roupas leves e pesadas, assim como equipamentos de proteção individual. E a partir desta consideração, serão adicionadas restrições quanto ao ambiente que o usuário do produto estará inserido, como : alcance, força, liberdade de movimentos, campo visual.

Para a representação do ambiente e do produto que o modelo irá interagir, podem ser utilizados desenhos realizados em softwares do tipo CAD, de onde, a grande maioria das ferramentas computacionais, permitem a importação de arquivos.

De outra forma, segundo Case et al (1991), algumas das ferramentas computacionais permitem a modelagem, com seus itens específicos, do espaço e do produto. As figuras podem ser definidas através da especificação da localização de vértices, juntamente com as relações entre vértices para gerar

bordas; e entre bordas para gerar planos em forma de polígonos ou então pelo uso de algumas figuras já previamente definidas, como tetraedros e prismas.

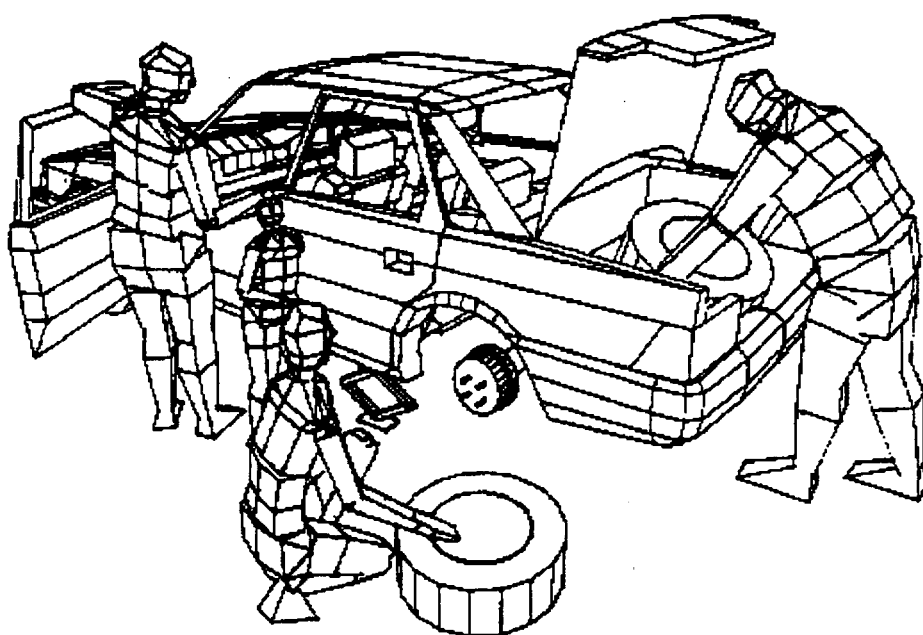
Modelos relativamente complexos, como o mostrado na figura 3.13, podem ser construídos com uma boa precisão dentro das necessidades de uma avaliação ergonômica, e ainda mais importante é que os modelos criados podem ser manipulados para trocar sua geometria ou posição, ou trocar o ângulo de visão que o usuário do programa está tendo da situação montada.

O modelador de sólidos das ferramentas computacionais permite especificar relações lógicas e funcionais entre itens do modelo. De acordo com Case et al (1991), isto é conseguido pelo uso de uma estrutura hierarquizada de dados, onde, por exemplo, é permitido que as operações sejam realizadas com sentido. Ou seja, quando a porta de um carro é aberta (ver figura 3.13), a maçaneta, interpretada como uma subparte da porta, manterá as apropriadas relações de espaço. A aplicação de estruturas hierarquizadas de dados não é utilizada apenas desta forma, é também quando da construção do modelo humano.

A figura 3.14 resume algumas das ferramentas computacionais com o propósito a que se destinam. Entretanto, a maioria destes programas foi desenvolvida para fins militares e necessitam de computadores de grande porte.

De qualquer forma, já existem softwares que possuem as características apresentadas neste item e que são compatíveis com microcomputadores da linha IBM PC. Algumas empresas já estão trabalhando em

versões de seus programas para microcomputadores. Os softwares compatíveis com o IBM PC são os dois últimos listados na figura 3.14.



Fonte : Case et al, 1991

Fig. 3.13 : Exemplo de figura onde foi utilizada a hierarquia de dados

NOME	Propósito
SAMMIE	avaliação da interação homem-máquina
CYBERMAN	avaliação do cockpit de automóveis
COMBIMAN	avaliação do cockpit de aeronaves
BOEMAN	avaliação do cockpit de aeronaves
CAR	análise de alcance
BUBBLEMAN	visualização de movimentos
BUFORD	avaliação da interação homem-máquina
SIMULA PROMETHEUS	simulação de acidentes
BULGAR	localização de segmentos do corpo
DYNASTICK	propriedades de massa do corpo e localização de segmentos
TORQUEMAN	análise de força e torque estáticos
CINCI KID	resposta dinâmica do corpo para forças externas
MINTAC	avaliação de alcance, posturas de trabalho e visibilidade
OSCAR	projeto de estações de trabalho
MANNEQUIN	avaliação da interação homem-máquina
ADAMS	avaliação da interação homem-máquina

Fig. 3.14 : Lista de alguns softwares para a utilização em projetos e suas aplicações

3.4.3 EXEMPLOS DE FERRAMENTAS PARA TESTE E REFINAMENTO

O exemplo de ferramentas não computacionais será apresentado de maneira genérica porque estas são altamente artesanais e variam muito entre si. Os custos associados a estas ferramentas não serão apresentados pelo mesmo motivo.

O exemplo de ferramentas computacionais que é apresentado é de um software compatível com microcomputadores IBM PC, devido à difusão deste padrão no Brasil.

Nome : Modelos humanos e do produto

Custo estimado : -----

Facilidade de uso : Boa

Etapa do projeto em que se aplica : Desenvolvimento de produtos. Na etapa de projeto preliminar (fixação das manifestações do produto) e na etapa de projeto detalhado (fixação definitiva das manifestações do produto e dos seus elementos).

De que maneira a informação é fornecida ao projetista : Através da observação da interação do modelo humano, ou de uma pessoa representativa do grupo de usuários, com o modelo do produto.

Tipos de projeto em que se aplica : Estações de trabalho, habitáculo de automóveis, ambientes de trabalho, móveis, e demais produtos em que estudos de alcance e o posicionamento do usuário são importantes.

Limitações : Por possuir uma característica artesanal, esta ferramenta pode estender o cronograma do projeto sem necessidade quando os modelos estão sendo construídos.

Nome comercial : Mannequin

Custo estimado : US\$ 500,00

Facilidade de uso : Boa

Etapa do projeto em que se aplica : Desenvolvimento de produtos. Na etapa de projeto preliminar (fixação das manifestações do produto) e na etapa de projeto detalhado (fixação definitiva das manifestações do produto e dos seus elementos).

De que maneira a informação é fornecida ao projetista : Através da observação direta no monitor verifica-se se os objetivos foram conseguidos e quais ajustes são necessários. Para um estudo biomecânico, o software fornece um gráfico que mostra o torque das partes para diferentes tarefas.

Tipos de projeto em que se aplica : Estações de trabalho, habitáculo de automóveis, ambientes de trabalho, móveis, e demais produtos em que estudos de alcance e o posicionamento do usuário são importantes.

Limitações : Esta ferramenta pode trazer, em alguns casos, demora na obtenção dos dados, devido a este utilizar muito da capacidade do microcomputador e fazendo com que as figuras geradas, tanto do modelo humano quanto do produto, levem algum tempo para serem concluídas.

3.5 UTILIZAÇÃO DAS FERRAMENTAS NAS ETAPAS DO PROCESSO DE PROJETO ERGONÔMICO DE PRODUTOS

As ferramentas disponíveis para o projeto ergonômico de produtos, quase que em sua totalidade estão voltadas para as últimas etapas do projeto, o Projeto Preliminar e o Projeto Detalhado. A exceção são as ferramentas para o planejamento que são voltadas para a coleta de dados para a elaboração da proposta de desenvolvimento do produto. Na figura 3.15, as ferramentas estão associadas às etapas do planejamento de produtos, e na etapa de *Procura de idéias para produtos*, a indicação é realizada de uma maneira geral porque a sua seleção é função dos dados que se deseja coletar.

Existem algumas ferramentas que não foram apresentadas, entretanto, são úteis no processo de planejamento e desenvolvimento ergonômico de produtos. Sua exclusão dos grupos se deu pela insuficiência de características em comum com as ferramentas dos grupos apresentados. Para a etapa de planejamento, a ferramenta não citada são catálogos de pontos fracos. Estes catálogos facilitam a procura e a identificação dos pontos fracos em produtos, e fornecem elementos que, a partir dos efeitos causados pelo produto, tornam possível a identificação das suas causas.

Na fase de desenvolvimento do produto, existem ferramentas com aplicação na etapa de clarificação da tarefa e na etapa de concepção. Para a fase de clarificação da tarefa, mais especificamente para a elaboração dos requisitos de projeto, existem listas de requisitos genéricos que permitem que sejam

encontrados elementos pertinentes a este processo. Para a fase de concepção, na alocação de funções entre o homem e a máquina, existem listas, conhecidas como *MABA/MABA lists* - Men Are Better At/Machines Are Better At, encontradas na literatura (ver Chapanis 1960, Fitts 1962 e Meister 1971) que indicam quais tarefas são melhor realizadas pelo homem e quais são melhor realizadas pela máquina. Estas listas possuem diversas limitações que restringem a sua aplicação, porém são adequadas para um direcionamento inicial na alocação de funções.

Etapas	Atividade	Ferramenta
I. Procura de idéias para produtos	1. Analisar pontos fracos em produtos. 2. Avaliar idéias para produtos. 3. Elaborar proposta e ordem de desenvolvimento de produtos.	Catálogos de pontos fracos Ferramentas para o planejamento
II. Acompanhar desenvolvimento do produto	1. Controlar o alcance dos objetivos e o atendimento aos requisitos. 2. Fomentar ajustes	
III. Acompanhar produto no mercado	1. Analisar pontos fracos do lançado no mercado.	Testes de usabilidade

Figura 3.15 : Ferramentas relacionadas às etapas de Planejamento

A figura 3.16 apresenta a indicação do uso de ferramentas para a etapa de Projeto Preliminar. No subitem II *Procurar e eliminar pontos fracos*, a escolha ou não, da utilização de ferramentas computacionais, deverá ser realizada pela avaliação dos recursos disponíveis e da complexidade da interface entre o usuário e o produto, conforme foi exposto anteriormente.

A etapa de projeto detalhado possui o maior número de ferramentas disponíveis. O grupo *Diretrizes de Projeto* é o que mais apresenta possibilidades

para esta fase, e está indicado de uma maneira geral porque todos os subgrupos participam. Os testes de usabilidade estão indicados por serem úteis na verificação do protótipo.

Etapa	Atividade	Ferramenta
I. Clarificação da tarefa	<ol style="list-style-type: none"> 1. Coletar informações. 2. Elaborar lista de requisitos. 	Requisitos genéricos
II. Concepção	<ol style="list-style-type: none"> 1. Abstrair, formular problema, elaborar estrutura de funções. 2. Procurar princípios de solução e escolher distribuição de funções entre homem e produto adequados. 3. Combinar princípios de solução e testar compatibilidade desta seleção. 4. Aumentar lista de requisitos, precisar a sua formulação, elaborar requisitos dos elementos dos produtos. 5. Concretizar alternativas de concepção, dar indicações mas precisas sobre os elementos. 6. Avaliar as alternativas de concepção, selecionar as mais adequadas. 	Listas MABA/MABA
III. Projeto Preliminar	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fixar manifestações do produto, fazer configuração básica. 2. Avaliar alternativas de projeto preliminar. 3. Procurar e eliminar pontos fracos. 4. Testar a compatibilidade das partes e dos elementos de configuração, selecionar a melhor alternativa. 	Recomendações para o projeto Ferramentas para o teste e refinamento
IV. Projeto Detalhado	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fixar definitivamente as manifestações do produto e dos elementos, fazer configuração detalhada. 2. Elaborar documentos / Iniciar construção do protótipo. 3. Elaborar especificações para peças a serem compradas. 4. Elaborar recomendações para fabricação, montagem, transporte, instalação, manutenção e descarte. 5. Avaliar protótipo. 6. Procurar pontos fracos no protótipo e eliminá-los ou aceitá-los. 	Diretrizes de projeto Diretrizes de projeto Diretrizes de projeto Testes de usabilidade

Figura 3.16 : Ferramentas relacionadas às etapas de Desenvolvimento

CAPÍTULO IV

SELEÇÃO DE FERRAMENTAS PARA A UTILIZAÇÃO NO PROJETO ERGÔNÔMICO DE PRODUTOS E PROPOSTAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE NOVAS FERRAMENTAS

4.1 INTRODUÇÃO

A seleção adequada de ferramentas para o projeto ergonômico de produtos é importante devido à influência destas ferramentas sobre o modo de trabalho da equipe de projeto, o tempo necessário para gerar uma boa solução, o tempo de aprendizado para o uso da ferramenta, os custos do projeto e a necessidade ou não de uma estrutura auxiliar. Porém, a maioria das equipes escolhem suas ferramentas com critérios sem uma fundamentação adequada. Frequentemente, a seleção é realizada apenas em função de preços promocionais e/ou sugestões de pessoas que não têm conhecimento aprofundado sobre o assunto. Somado a isto, a seleção é uma atividade complexa devido ao grande número de ferramentas disponíveis e à variedade de aplicação destas. Esta seleção com critérios mal fundamentados ocorre devido ao pouco tempo

dispensado para realizar a seleção e também pela grande quantidade de fatores que o projetista deve considerar para efetuar uma boa seleção.

Estes fatores estão reunidos neste capítulo na forma de critérios para a seleção das ferramentas, facilitando, desta forma, o processo de seleção. Inicialmente, os critérios são apresentados um a um, e então ao final são apresentados alguns procedimentos para a seleção e um exemplo para ilustrar o que foi descrito anteriormente.

Outro assunto tratado neste capítulo é a apresentação de propostas para o desenvolvimento de novas ferramentas. Estas propostas estão direcionadas para pesquisadores e empresas que desenvolvem recursos para auxiliar o projetista em sua tarefa. Estes dados foram elaborados em função das necessidades no processo de projeto que não são atendidas e, também, das lacunas que são deixadas pelas ferramentas atualmente existentes.

4.2 SELEÇÃO DE FERRAMENTAS PARA O PROJETO ERGONÔMICO

Para a realização de uma seleção é preciso que existam critérios justificados para realizar esta tarefa. Na literatura disponível atualmente, não existe material que forneça critérios para a seleção das ferramentas. Da mesma forma, não existe um método para a coleta de informações que sustente esta seleção.

Em virtude disso, buscou-se a elaboração e a fundamentação dos critérios analisando-se : o processo de planejamento e desenvolvimento de produtos (apresentado no Capítulo II), as respostas dos questionários enviados e as características das ferramentas (analisadas no Capítulo III).

Através desta análise, são propostos os seguintes critérios, para a seleção de ferramentas :-

- Facilidade de uso e aprendizagem
- Compatibilidade com os dados disponíveis
- Satisfação com a informação/dados fornecidos
- Versatilidade na aplicação
- Custo de aquisição, operação e manutenção
- Forma de trabalho.

4.2.1 FACILIDADE DE USO E APRENDIZAGEM

Quando o projetista ou a equipe de projeto utilizam uma ferramenta, estes buscam nela uma ajuda para a realização de sua atividade. Portanto, a ferramenta não pode ser um empecilho ao processo de projeto. Desta forma, se não existir uma maneira de facilitar a aprendizagem e o uso, implicará que o emprego daquela ferramenta, no processo de projeto, poderá não trazer os resultados desejados. Além de, com o tempo, o uso daquela ferramenta se tornar

cansativo e desgastante, fazendo com que as pessoas responsáveis pelo desenvolvimento do produto tendam a evitar a sua aplicação.

Voltado para este problema, o critério *Facilidade de uso e aprendizagem* procura verificar qual o nível de dedicação que o projetista precisa dispensar nos processos de aprendizagem e de uso. Este critério está diretamente relacionado à maneira pela qual a ferramenta permite um uso mais fácil ou não, avaliando tanto o processo de aprendizagem como de utilização, desde a preparação do equipamento, se for necessário, até a coleta e a análise dos dados obtidos.

Por ser muito subjetivo, antes da avaliação por este critério, deve-se investigar o nível de dificuldade para o aprendizado, quais as atividades de preparação ao uso são necessárias e a maneira como é efetuado o processo de utilização. Para realizar esta investigação deve-se buscar informações sobre a necessidade de um treinamento prévio para a utilização, a leitura de manuais, testes para regulagens, preparativos ao uso (ex.: equipamentos de medição, pessoas para analisar), orientação para outras pessoas que irão auxiliar os operadores do equipamento, entre outros. Esta investigação deve ser repetida para cada uma das ferramentas candidatas à escolha. Porém, deve-se observar que, para determinadas aplicações, algumas ferramentas vão necessitar de uma mão-de-obra maior que outras, enquanto que para outras aplicações as mesmas ferramentas não terão o mesmo problema. Por exemplo, algumas ferramentas do grupo das Ferramentas para o Planejamento funcionam conectadas a um computador para a coleta dos dados, porém se várias delas forem utilizar o

mesmo computador, o trabalho de instalação é compensado pela quantidade e variedade dos dados coletados no experimento.

4.2.2 COMPATIBILIDADE COM OS DADOS DISPONÍVEIS

Nas diferentes etapas do projeto do produto, as informações são transformadas pela equipe de projeto apresentando diferentes níveis de detalhamento, complexidade e quantidade à medida que o projeto é desenvolvido. Por ser um processo seqüencial, no qual as informações de etapas posteriores são fundamentadas nas etapas iniciais, deve-se procurar evitar ao máximo lançar considerações não baseadas nos estudos realizados anteriormente.

Portanto, o emprego de ferramentas que utilizam, como dados de entrada, as informações disponíveis na etapa do projeto que se está trabalhando, é muito importante. O critério *Compatibilidade com os dados disponíveis*, apesar de parecer redundante, tem caráter precípuo. Pois procura observar se, para a ferramenta em análise, é necessário que sejam buscadas novas informações ou então, que sejam feitas suposições. Estes procedimentos implicarão em mais trabalho para a equipe responsável pelo planejamento e desenvolvimento do produto, pois a equipe precisará adaptar as informações que tem disponível para que seja possível utilizar a ferramenta. Desta forma, este critério assegura que sejam escolhidas as ferramentas mais adequadas para a etapa do projeto que se deseja e para a informação disponível.

As ferramentas podem apresentar este problema de incompatibilidade com os dados disponíveis porque são desenvolvidas, em alguns casos, para situações específicas em ambientes controlados, onde muitas variáveis são de conhecimento dos responsáveis pelo desenvolvimento da ferramenta. E estas variáveis, não têm, necessariamente, o mesmo comportamento quando a ferramenta está sendo utilizada pelos projetistas.

4.2.3 SATISFAÇÃO COM A INFORMAÇÃO E COM OS DADOS FORNECIDOS

A atividade principal, e talvez até única em alguns casos, das ferramentas é receber informações e a partir delas gerar e/ou adicionar mais informações aos dados inicialmente fornecidos, para que estes sejam utilizados na incorporação de aspectos ergonômicos no projeto de produtos.

No uso de uma ferramenta, previamente já é conhecido que dados serão conseguidos com a utilização desta. Porém, antes da sua aquisição é preciso ter informações detalhadas a respeito dos resultados e dados que são fornecidos pela ferramenta. Pois, com diversas alternativas de escolha, o projetista pode observar ferramentas que atendam da mesma forma, ou em alguns casos, atendam melhor à sua necessidade. Entretanto, não obrigatoriamente, a segunda alternativa terá um custo maior ou então um mal desempenho nos outros critérios.

Além disso, a equipe de projeto deve observar se as informações recebidas, após o uso da ferramenta, são suficientes para a necessidade que apresentam. Caso o resultado não seja satisfatório, será necessário complementar esta informação com um estudo ou, até mesmo, com a utilização de uma outra ferramenta. Neste caso, a ferramenta em análise, deve ser considerada fraca. Caso não seja adequado a utilização de apenas uma ferramenta, deve-se procurar o uso do menor número de ferramentas.

Para que esta análise seja adequada, é preciso observar a situação na qual se aplica o estudo, e definir, claramente, a necessidade, ou seja, quais informações são necessárias e em que forma. Porém, não deve ser negligenciada uma provável mudança na necessidade da equipe de projeto, esta deve ponderar se deve procurar uma ferramenta que atenda às suas necessidades imediatas ou se deve procurar ferramentas que atendam a estas necessidades e às necessidades futuras.

Entende-se aqui como necessidades futuras, novos projetos com interfaces diferentes, que necessitem de uma análise distinta da realizada anteriormente. Com estes passos cumpridos, a escolha da ferramenta através deste critério é bastante facilitada.

4.2.4 VERSATILIDADE NA APLICAÇÃO

Como o processo de planejamento e desenvolvimento de um produto implica em custos financeiros muito altos para as empresas, algumas estratégias de redução de custos permitem que se alcance estes objetivos, sem que o desempenho da equipe de projeto seja prejudicado.

Entre estas estratégias está a busca de uma ferramenta que tenha uma grande versatilidade no processo de projeto. Esta versatilidade pode ser traduzida como a possibilidade de aplicação da ferramenta em várias etapas do projeto e também em projetos de diferentes tipos de produtos. Ferramentas com estas características permitem que o seu custo seja amortizado no uso em vários projetos, implicando em custos menores para o planejamento e desenvolvimento de produtos.

Caso uma equipe de projeto trabalhe unicamente com um produto, este critério poderá receber um peso menor na avaliação. Pois, já não é necessário avaliar a versatilidade da ferramenta em função do tipo de projeto. Isto pode ser negligenciando se for previsto o lançamento de novas versões, que venham a modificar de tal maneira o produto, que serão necessárias avaliações até então não realizadas.

Além disso, outro caracterizador deste critério é que uma ferramenta mais versátil permite um maior domínio sobre ela. Isto implicará que, através do uso intenso, os projetistas terão uma confiabilidade maior nos resultados fornecidos pela ferramenta.

4.2.5 CUSTO DE AQUISIÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

Inevitavelmente, os custos para aquisição, operação e manutenção da ferramenta são importantes para a avaliação. Este critério deve ser considerado em qualquer avaliação, para empresas de qualquer porte, pois implica diretamente na viabilidade ou não de uso da ferramenta.

Nos custos de aquisição devem ser considerados não apenas o montante gasto para a ferramenta em si, mas também nos custos de aquisição de outros equipamentos para permitir a utilização da ferramenta, como : computadores, transmissores de rádio, equipamentos de iluminação, tripé.

Nos custos de operação deve-se considerar os custos com : treinamento de usuários, reciclagem com novas versões da ferramenta, energia elétrica, material de consumo (fitas de vídeo, disquetes, filmes fotográficos) etc..

Nos custos de manutenção devem ser considerados a vida útil da ferramenta e os custos com : troca de peças, programa de manutenção com o fabricante, manutenção corretiva, limpeza de lentes, etc..

4.2.6 FORMA DE TRABALHO

A forma de trabalho é a maneira como os dados processados, pela ferramenta, são transformados em resultados para o projetista. O modo como a

ferramenta trabalha com as informações fornece a precisão dos resultados finais que são gerados. Esta informação pode ser conseguida com os responsáveis pelo desenvolvimento da ferramenta.

Conforme foi apresentado no Capítulo III, no grupo das Diretrizes de Projeto, as ferramentas computacionais representam a coluna vertebral de uma forma diferenciada para facilitar o processamento computacional. Caso a necessidade, da equipe de projeto, for algo mais preciso que esta aproximação, então estas ferramentas devem receber um conceito menor neste critério. Para as ferramentas que fazem estudos mais precisos, este conceito deve ser maior.

Para a equipe poder realizar a avaliação por este critério de maneira adequada, ela deve observar qual o nível necessário de precisão das informações em seu projeto. Assim como no critério *Satisfação com a informação e com os dados fornecidos*, aqui deve-se analisar a possibilidade de um futuro aumento no nível desejado de detalhamento dos dados a serem trabalhados. Desta forma, a equipe de projeto, observando a precisão que é necessária nos seus trabalhos, pode escolher a ferramenta mais apropriada para o seu uso.

Para uma melhor visualização dos critérios apresentados e das atividades a elas relacionadas, a tabela abaixo apresenta-os resumidamente.

CRITÉRIO	Atividade
Facilidade de uso e aprendizagem	Investigar o nível de dificuldade para o aprendizado, quais as atividades de preparação ao uso e o uso em si.
Compatibilidade com os dados disponíveis	Definir quais informações estão disponíveis e quais são necessárias para o uso das ferramentas.
Satisfação com os dados e informações fornecidos	Definir claramente quais informações o projetista deseja obter com a ferramenta e em que forma.
Versatilidade na aplicação	Observar que ferramentas têm uma maior aplicabilidade no projeto.
Custo de aquisição, operação e manutenção	Definir quais são os recursos financeiros disponíveis para a equipe.
Forma de trabalho	Determinar qual a precisão dos dados que se deseja conseguir com a ferramenta.

Fig. 4.1 : Resumo dos critérios e das atividades associadas

4.2.7 RECOMENDAÇÕES PARA A SELEÇÃO

Aqui neste item apresenta-se algumas considerações para que a escolha da ferramenta seja melhor realizada, pois apenas os critérios não são suficientes, é necessário ainda que haja uma divisão entre eles, pois apresentam diferentes graus de importância entre si. Esta divisão deve ser respeitada para que a escolha seja de melhor qualidade. Ao final, é apresentado um exemplo prático de escolha de uma ferramenta para um projeto específico.

4.2.7.1 Critérios Principais e Critérios Secundários

Para a escolha da melhor ferramenta para a aplicação desejada é preciso que os critérios estabelecidos anteriormente, sejam entendidos bem e da mesma forma por todos os membros da equipe de planejamento e desenvolvimento de produtos da empresa.

Além do afirmado acima, para uma escolha adequada, a seleção deve ser realizada em dois passos. O 1º passo seleciona, previamente, as ferramentas que atendam aos critérios principais, e o 2º passo realiza a seleção definitiva da ferramenta através dos critérios secundários. Os critérios principais são os critérios que a ferramenta deve ter um desempenho **obrigatoriamente** bom, caso esta não o atenda adequadamente deve ser previamente descartada. Os critérios secundários são os critérios que farão a seleção da ferramenta entre as alternativas que atenderam satisfatoriamente aos critérios principais.

A divisão em principais e secundários, deve-se em razão da existência de critérios que, caso a ferramenta não tenha um desempenho satisfatório, a sua utilização no projeto do produto não será possível ou então será realizada com muitas limitações. Aqui sugere-se para principais os seguintes critérios : **Compatibilidade com os dados disponíveis e satisfação com os dados e informações fornecidos**. Estes critérios foram escolhidos como principais por estarem diretamente relacionados com o processo de projeto. Ferramentas com um fraco desempenho nos critérios principais sugeridos farão com que as atividades relacionadas a elas sejam prejudicadas.

Entre os critérios secundários pode existir uma ponderação diferenciada, entretanto, aqui não se propõe o estabelecimento de valores para a ponderação. Os pesos para cada critério devem ser escolhidos pelos participantes da avaliação, pois estes têm a sua necessidade melhor percebida e têm maiores condições de estabelecer os pesos a partir destas necessidades.

No caso da ausência de um critério específico para a necessidade do projeto em questão, este deve ser bem fundamentado e justificado. Isto auxiliará a equipe de projeto para um bom entendimento do critério e para que a procura por alternativas seja melhor realizada.

4.2.7.2 Procedimento de Escolha

Aconselha-se que a seleção de ferramentas seja feita em duas etapas. A inicial, que deve ser realizada por membros da equipe de projeto que já tenham uma experiência maior de uso com alguma ferramenta e a secundária que deve ser realizada por todo o grupo. Na etapa inicial, selecionam-se várias alternativas para a necessidade apresentada, porém esta não é a escolha definitiva. Na segunda etapa é realizada a escolha final da ferramenta, onde todo o grupo envolvido no processo de planejamento e desenvolvimento do produto escolhe dentre aquelas alternativas selecionadas anteriormente.

Este procedimento permite que todas as pessoas participem da escolha apresentando seus pareceres sobre o assunto, e também que esta seja feita

de uma maneira mais objetiva devido à redução de opções feita inicialmente. Caso no grupo não existam pessoas com experiência no uso destas ferramentas, então aconselha-se que sejam escolhidos os projetistas mais experientes.

A sequência de avaliação pelos critérios não influirá no resultado final, o que deve ser observado é a distinção entre os critérios principais e os secundários. Da mesma forma, é necessário que os critérios recebam pesos individuais quando a equipe de projeto verificar que alguns critérios são mais importantes que outros.

4.2.7.3 Exemplo de Escolha de Ferramenta

O exemplo apresentado será para o planejamento de uma cadeira escolar que será reprojeta. Conforme visto no Capítulo II, no Planejamento procura-se identificar pontos fracos no produto para que sejam elaboradas propostas que serão encaminhadas para a equipe de Desenvolvimento. De uma forma geral, o objetivo dos projetistas é melhorar aspectos relativos ao usuário, tornando a cadeira escolar mais confortável ao uso.

Foi definido que, para a fase de planejamento, deve-se determinar que posturas o usuário assume durante a utilização da cadeira escolar. Portanto, observando-se as ferramentas disponíveis para este fim encontram-se as ferramentas para registro de movimentos. Estas ferramentas são a gravação

através da fotografia, a gravação com câmeras de vídeo e a coleta automática de dados (onde utilizam-se computadores e sensores de ultrassom ou infravermelho).

Analisando-se os critérios principais, verifica-se que todas as ferramentas atendem satisfatoriamente ao critério "Compatibilidade com os dados disponíveis". Isto é comprovado pela maneira como as ferramentas trabalham; para as três alternativas de ferramenta somente são necessários a cadeira que se deseja analisar e um usuário considerado representativo do grupo desejado.

Contudo, para o critério "Satisfação com os dados e informações fornecidos", verifica-se que a gravação através da fotografia deixa a desejar devido à importância que há na maneira na qual o usuário muda de posição. Na gravação através da fotografia somente são registradas as trajetórias que os pontos marcados efetuam, não se sabe que outros movimentos são realizados simultaneamente e que auxiliam na sua realização. Esta informação é importante para a elaboração de propostas que a ordem de desenvolvimento de produtos deve conter. Portanto, as outras ferramentas apresentam um desempenho bastante superior pois permitem a verificação da forma como o movimento é realizado.

Para o critério "Versatilidade na aplicação", as ferramentas possuem o mesmo desempenho pois neste item estas são equivalentes, ou seja, não possuem nenhum diferenciador que permite uma distinção na avaliação por este critério. No critério "Forma de trabalho", a coleta automática de dados poderia ter um desempenho melhor, porém, neste caso estas receberam o mesmo conceito devido à precisão necessária para os dados coletados não ser alta, pois

somente deseja-se observar o usuário e seus movimentos e a precisão fornecida pela gravação em vídeo é adequada, assim como pela outra ferramenta.

Os critérios que irão definir a escolha serão "Custo de aquisição, operação e manutenção" e "Facilidade de uso e aprendizagem". Observando-se as duas ferramentas a partir do primeiro critério, verificar-se-á que, o gasto para os três itens de custo, para a coleta automática de dados é muito maior que para a gravação em vídeo. Avaliando-se as alternativas pelo segundo critério é observado que a gravação em vídeo possui um tempo de aprendizagem pequeno em relação à coleta automática de dados, devido à última trabalhar utilizando softwares que, necessariamente, implicará em um certo tempo para treinamento. Assim sendo, a gravação com câmera de vídeo é a ferramenta escolhida para realizar a análise pretendida.

4.3 PROPOSTAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE NOVAS FERRAMENTAS

Este item apresenta algumas sugestões para o desenvolvimento de novas ferramentas a serem utilizadas no projeto ergonômico de produtos. Estas sugestões são originadas de observações das necessidades que existem no processo de projeto e também nas lacunas que são deixadas pelas ferramentas atualmente existentes.

Analisando-se o Capítulo III (em especial as figuras 3.16 e 3.17), chega-se à conclusão de que muitas etapas do projeto são mal servidas ou então não existe nenhuma ferramenta disponível para ser utilizada na etapa em questão. Este fato pode ser verificado nas figuras 3.16 e 3.17.

Além das necessidades expostas nas figuras, é preciso que sejam desenvolvidas mais ferramentas computacionais compatíveis com microcomputadores. A maioria das ferramentas listadas na figura 3.14 são voltadas para trabalhos em estações de grande porte, recurso este não disponível para a maioria das equipes de projeto.

As sugestões apresentadas aqui servem da mesma forma para novas ferramentas desenvolvidas no futuro e também para as ferramentas já existentes nos dias de hoje, seja adicionando novas funções ou aprimorando as existentes. Algumas sugestões servem unicamente como base para a montagem dos requisitos das novas ferramentas.

Para melhor divisão deste item, ele está separado em duas partes, uma inicial que trata dos requisitos para ferramentas a serem utilizadas no planejamento de produtos e o segundo aborda o mesmo assunto, porém, voltado para a fase de desenvolvimento de produtos. Buscou-se essa divisão para melhor apresentar as sugestões, devido a que as ferramentas, tanto para o planejamento como para o desenvolvimento, tratam de etapas distintas do projeto e, portanto, trabalham com um nível de informações diferenciado.

4.3.1 REQUISITOS PARA FERRAMENTAS A SEREM UTILIZADAS NO PLANEJAMENTO DE PRODUTOS

O planejamento de produtos trabalha apenas com informações. Porém, estas informações precisam ser coletadas de uma maneira adequada para que sejam úteis na montagem da ordem de desenvolvimento do produto, objetivo inicial da etapa de planejamento. Entretanto, as ferramentas utilizadas para este fim são desenvolvidas para ergonomistas, ou seja, permitem apenas a coleta de dados para que os ergonomistas façam um análise posterior. Enquanto que, o projetista, necessita de algo que complemente estas informações para que sejam mais adequadas para o uso no planejamento do produto.

Desta forma, é preciso, que sejam desenvolvidas ferramentas para que sugestões sejam oferecidas a partir dos dados coletados, ou seja, o projetista, de posse destes dados, utilizará a nova ferramenta para encontrar ou orientar a procura de idéias. Devido a que esta procura é feita, atualmente, baseada apenas na experiência do projetista e em seus conhecimentos sobre o assunto e, também com a ajuda da lista de requisitos genéricos que se apresentam com diversas limitações, como : falta de atualização, limitações na busca de informações mais específicas, entre outros. Na elaboração desta ferramenta deve-se observar a maneira como a ferramenta irá trabalhar, pois alguns tipos de ferramentas são facilmente abandonadas por projetistas, devido ao seu uso ser enfadonho e cansativo, como por exemplo, as recomendações de projeto que se apresentam na forma de declarações.

A busca de novas alternativas de solução, utilizada para a eliminação de pontos fracos (Capítulo II, subitem 2.2.1), é uma atividade que também pode ser auxiliada através do uso de uma ferramenta. Assim sendo, sugere-se um trabalho de pesquisa e coleta de dados para a formação de um catálogo que compreenda alternativas de soluções voltadas para o aspecto ergonômico de produtos. Podendo trabalhar como direcionador na eliminação de pontos fracos, este catálogo permitirá uma melhor compreensão do problema em questão.

Basicamente, o problema observado nas lacunas existentes no planejamento de produtos encontra-se sobre a atividade de recuperar e interpretar as potenciais informações para o problema. Aparentemente simples, este problema se torna bastante complexo quando a finalidade é transformar a solução em um método ou declarações que facilitem esta atividade, ou seja, na forma de uma ferramenta.

4.3.2 REQUISITOS PARA FERRAMENTAS A SEREM UTILIZADAS NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

No desenvolvimento de produtos o maior problema no que tange ao aspecto ergonômico, é na distribuição de funções entre o produto e o usuário. O que existe atualmente são as listas MABA/MABA (ver Capítulo III, item 3.5),

porém estas não orientam de maneira consistente a escolha de tarefas para produtos e para as pessoas.

Existem diversas estratégias propostas para a distribuição de funções. A estratégia clássica é considerar cada função isoladamente e alocá-la em função da capacidade relativa do usuário e do produto. O mais capaz, ou que tiver melhor desempenho, recebe a tarefa em questão. Listas extensas comparando a performance de homens e máquinas, em uma ampla variedade de tarefas, foram preparadas para este propósito. Embora se procure com isso uma boa performance do conjunto produto-usuário, as tarefas alocadas para o usuário não necessariamente visarão o seu conforto. Além do que, estas listas abordam de uma maneira muito simples um problema potencialmente rico, e não prevêm o desenvolvimento tecnológico, como por exemplo, em um dos itens, é citado que as pessoas são mais aptas para o reconhecimento de padrões; porém atualmente a tecnologia tem vencido esta barreira com resultados satisfatórios.

Desta forma, o desenvolvimento de métodos mais efetivos para a alocação de funções é altamente necessário para o projeto de produtos. Estes métodos devem prever as habilidades do usuário, assim como o desenvolvimento tecnológico atual, mas principalmente, o balanceamento entre o conforto do usuário e a performance do produto.

Outra lacuna observada é a ausência de catálogos com princípios de solução adequados ao conforto do usuário. Esta atividade é freqüentemente realizada da seguinte maneira : é definida a solução e em seguida a equipe de projeto analisa se esta é adequada ou não ao usuário, caso não seja, é definida

uma nova solução e esta é analisada novamente. Este processo repete-se até que seja encontrado uma solução adequada pela equipe de projeto. Com o uso destes catálogos, existirá a possibilidade da equipe já ter em mãos um grupo de soluções que são satisfatórias para serem utilizadas no projeto do produto e, portanto, a equipe melhora o seu desempenho, reduzindo o tempo de projeto.

A elaboração da lista de requisitos também é prejudicada por não possuir ferramentas que apresentem elementos, voltados para o aspecto ergonômico, que são comuns e obrigatórios para diversos tipos de produtos. Assim, a elaboração de auxílios para realizar esta atividade reduziria o trabalho de procura de requisitos e permitiria que a equipe se concentrasse em requisitos mais específicos para a sua aplicação.

Outra necessidade observada é a falta de ferramentas que forneçam informações específicas sobre a performance humana, assim como ferramentas computadorizadas para a predição de sobrecarga. As ferramentas atuais observam o usuário de uma maneira isolada, verificam, por exemplo, se a força aplicada para acionar determinada alavanca é permissível ou não para o grupo de usuários desejado, porém nenhuma delas analisa a atividade do usuário como um todo. Ou seja, novas ferramentas precisam fornecer aos projetistas informações relativas ao desempenho do usuário ao longo do tempo, para verificar se estas atividades são pertinentes ou não.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O trabalho fornece uma visão abrangente das ferramentas e suas possibilidades, tornando possível que projetistas tenham acesso às características que as ferramentas utilizáveis no projeto ergonômico de produtos possuem. Isto permite que os projetistas observem a existência dos recursos que podem ajudar a melhorar o resultado final de seu trabalho. Deve-se ressaltar que, este fato ocorre não por falta de interesse destas pessoas, mas na verdade, por uma divulgação pouco clara das características destas ferramentas.

Com os projetistas munidos das informações presentes neste trabalho, eles terão condições de especificar qual a sua necessidade (para o seu tipo de trabalho ou produto) e selecionar qual(ais) a(s) ferramenta(s) mais adequada(s) para a sua aplicação. Além disso, o trabalho apresenta uma visão mais abrangente dos recursos disponíveis atualmente. Os responsáveis pelo desenvolvimento de ferramentas, como por exemplo os institutos de pesquisa, têm também material para coleta de informações para o desenvolvimento de novas ferramentas.

O trabalho também fornece, para estes pesquisadores, elementos de avaliação de suas ferramentas. Esta avaliação verifica se estão indo de encontro

aos seus objetivos. Fornece, também, requisitos para novas ferramentas que podem e devem ser incorporados em desenvolvimentos futuros, a possibilidade de identificação de pontos fracos em suas ferramentas e de que maneira as ferramentas podem auxiliar, de uma maneira mais consistente, o processo de projeto.

O exposto acima é confirmado de acordo como foi apresentado nos capítulos anteriores, onde pôde-se verificar a existência de diversas lacunas no processo de projeto. Verifica-se, também, que as ferramentas para as últimas etapas do projeto estão bem desenvolvidas. Isso se dá pela visão anterior que se tinha (ver Capítulo I) onde inicialmente a Ergonomia se resumia à especificação apenas de comandos e controles. Assim, estas ferramentas sofreram um processo evolutivo mais longo que outras que ainda estão iniciando neste processo.

No Capítulo IV, a proposição de novas ferramentas busca fechar esta lacuna, porém o grau de desenvolvimento entre elas deverá ser somente alcançado após uma maior preocupação sobre a importância da introdução de aspectos humanos no projeto do produto desde os estágios iniciais do processo de planejamento e desenvolvimento de um produto.

Esta preocupação fará com que surjam necessidades de um aprimoramento e criação de ferramentas para os estágios iniciais do projeto do produto, assim como, novos requisitos para o aperfeiçoamento destas ferramentas.

A utilização das ferramentas apresentadas neste trabalho de forma alguma irá dispensar a presença de pessoas preparadas para a tarefa do projeto,

estas visam, como foi mostrado aqui, ajudar na incorporação de aspectos humanos no planejamento e desenvolvimento de produtos. E, por outro lado, a simples utilização das ferramentas não garantirá um produto adequado do ponto de vista da Ergonomia. É preciso que Engenheiros de Produto e Designers, que farão uso das ferramentas, possuam conhecimentos sobre o ser humano para garantir a aplicação satisfatória dos dados no projeto do produto.

Desta forma, em virtude do exposto acima, pode-se concluir que os objetivos do trabalho foram alcançados (fornecer um procedimento genérico e informações para a seleção de ferramentas), assim como, o teste e a comprovação da hipótese.

Para trabalhos futuros recomenda-se :

Ampliação dos critérios de seleção - sugere-se que para os critérios apresentados no Capítulo IV, sejam elaborados critérios mais específicos para casos específicos. Também sugere-se uma atualização com novas informações e eliminação de critérios que venham a perder a sua significância para que sempre seja garantida uma avaliação de qualidade.

Desenvolver pesquisa específica para cada grupo de ferramenta - propõe-se que seja realizado um trabalho com a mesma estrutura do atual porém com caráter mais específico. A pesquisa ao invés de abranger todo o processo de projeto, deve estar focada em cada grupo de ferramentas. Esta proposta tem como objetivo permitir que os responsáveis pelo desenvolvimento de ferramentas e pesquisadores possuam material bastante rico para o desenvolvimento de suas ferramentas facilitando um processo de benchmarking e coleta de informações.

Este trabalho procurou apresentar as ferramentas disponíveis para o projeto ergonômico de produtos, não enfatizando em aspectos mais técnicos. Trabalhos posteriores poderão tratar este tema de maneira adequada relatando como os resultados são conseguidos e observando sugestões de melhoria.

Ampliar a faixa de classificação das ferramentas - com o desenvolvimento das ferramentas será necessário a criação de novos grupos de ferramentas onde estas terão características comuns mais específicas necessitando de um refinamento mais apurado na apresentação destas características.

Realização de pesquisa antropométrica - a realização de uma pesquisa antropométrica para a população brasileira de validade é vital para a melhoria de produtos, no aspecto da Ergonomia, vendidos no Brasil. Infelizmente o trabalho dos técnicos do INT (Instituto Nacional de Tecnologia) descrito neste trabalho não é útil por não ser representativo, porém acredita-se que seja louvável pela sua iniciativa. E para o desenvolvimento de algumas ferramentas estes dados são fundamentais e sem eles a tecnologia nacional neste campo fica restringida de se desenvolver.

ANEXOS

Anexo I

ENDEREÇOS DAS EMPRESAS FABRICANTES DE FERRAMENTAS

Ergokit

Instituto Nacional de Tecnologia
Unidade de Programas de Desenho Industrial
Av. Venezuela, 82 - Sala 311
20081-310 Rio de Janeiro-RJ
Fone : (021) 253-4193 Ramais 314/328/329
Fax : (021) 263-6552
Telex : 21-30056 FINT/BR

Mannequin

Biomechanics Corporation of America
1800 Walt Whitman Road
11747 Melville - New York
USA

Adams

SMI Software Marketing Internacional (Representante no Brasil)
Av. Brigadeiro Faria de Lima, 613, conj. 101/2
01451-000 São Paulo-SP
Fone : (011) 820-0388
Fax : (011) 820-7361

Man-Made Systems Corporation

2092 Gaither Road
Rockville, MD 20850
USA
Fone : (301) 208-6798
Fax : (301) 590-2941

WWW URL <http://www.charm.net/~mms/>
E-mail : mms@charm.net

Zebris Medizintechnik Gmbh

Grabenstrasse 17
Postfach 1143
D-7972 Isny im Allgäu
GERMANY
Fone : 07562 4882 / 07562 4221
Fax : 07562 5213

Anexo II

QUESTIONÁRIO

1 Quais ferramentas sua equipe utiliza para incorporar fatores humanos no planejamento e desenvolvimento de produtos ?

- ☐ Motografia
- ☐ Recomendações antropométricas
- ☐ Software para teste
- ☐ Observação do usuário
- ☐ Outros : _____

2 Qual o nível de dificuldade para o aprendizado ?

- ☐ Alto
- ☐ Médio
- ☐ Baixo

2.1 Por quê ?

3 Qual o nível de dificuldade para o uso ?

- ☐ Alto
- ☐ Médio
- ☐ Baixo

3.1 Por quê ?

4 A ferramenta atende às suas necessidades ?

- ☐ Totalmente
- ☐ Parcialmente

4.1 De que maneira poderia ser melhorada ?

5 Em sua opinião, o custo de aquisição da ferramenta que você usa é :

- ☐ Alto
- ☐ Justificado
- ☐ Baixo

6 Em sua opinião, o custo de manutenção e operação da ferramenta que você usa é :

- ☐ Alto
☐ Justificado
☐ Baixo

7 Este espaço está reservado caso você deseje acrescentar algo à nossa pesquisa.

Anexo III

OPERACIONALIZAÇÃO DAS FERRAMENTAS

FERRAMENTAS PARA O PLANEJAMENTO

Motografia

Para a execução da motografia, são necessários a fixação de pequenas lâmpadas, que podem receber energia de pilhas, às partes do corpo que se deseja observar. Em virtude disto, o estudo dos movimentos não é dificultado e os resultados são próximos dos reais.

As lâmpadas devem ser bem fixadas ao corpo, pois se vibrarem haverá erros na interpretação dos resultados. Conforme já descrito no Capítulo III, a máquina fotográfica registra os movimentos e suas trajetórias em fotos. Apesar de estar com uma abertura maior do diafragma, as fotos produzidas por esta máquina podem ser feitas com a iluminação normal do espaço de trabalho.

Para fins práticos, na maioria dos casos, é melhor registrar movimentos em condições normais de iluminação, como por exemplo no estudo de tarefas de trabalho executadas com luz ambiente. Contudo, em casos de ambientes escuros ou quando se puder gerar a escuridão sem influir nos resultados, pode-se usar material comumente usado na fotografia (filmes e filtros), o que é interessante do ponto de vista econômico e prático. Em todo caso, é preciso evitar ofuscamentos e possíveis interferências pelo uso do flash.

O usuário da motografia tem uma série de requisitos, que se forem atendidos, vão facilitar o uso do método. Os requisitos de usuários, que a motografia atende, e os respectivos característicos são :

- piscar das lâmpadas não perturbador à pessoa → utilizar emissores não visíveis
- registro do flash em toda possível situação de iluminação → é possível fazer estudos no escuro, bem como diretamente na luz solar

- as fotos devem ser obteníveis rapidamente → o procedimento de absorção por banda permite o uso de material de filme instantâneo
- registro de rastro de movimentos de partes do corpo que não permitem a fixação de lâmpadas emissoras de raios → técnica ultravioleta no procedimento por absorção por banda
- possibilidade de observar e medir em três dimensões → stereomotografia (utilização de três câmeras simultaneamente, uma para cada plano)

DIRETRIZES DE PROJETO

A utilização de quaisquer ferramentas classificadas como *Diretrizes de Projeto* é bastante simples. O projetista precisa definir que informação necessita e então procurar nas fontes citadas.

Para o caso do projeto de um pedal, é necessário saber em que postura o usuário estará (em pé ou sentado) no momento do uso, se o acionamento será realizado por ambos os pés, se é necessário algum apoio, qual a força que será aplicada, e outras informações que a própria fonte de referência solicitará para a pessoa que a está consultando para viabilizar a coleta dos dados desejados. Este exemplo pode ser ampliado para qualquer elemento que faça interface com o ser humano.

FERRAMENTAS PARA TESTE E REFINAMENTO

Samme

O SAMMIE (System for Aiding Man-Machine Interaction Evaluation) foi originalmente desenvolvido por Keith Case, J. Mark Porter, Maurice C. Bonney e pesquisadores da Universidade de Nottingham. Este sistema apresenta :

- um esquema de modelamento humano em três dimensões para a construção de modelos “full-size” (permitindo a sua visualização através de um monitor de computador),

- possibilidade de representação da forma humana (que pode ser variada antropometricamente e biomecanicamente para representar o grupo de usuários desejado),

- um grupo de técnicas de avaliação da capacidade humana (baseada no modelamento humano),

- e uma interface com o usuário que auxilia na natureza interativa e iterativa no processo de avaliação e de projeto.

Em seu sistema de modelamento de objetos são criados e especificados os elementos com os quais o usuário irá interagir. Estes elementos agrupados formam o produto que se deseja desenvolver. Neste subsistema do SAMMIE é possível desenhar o produto que se deseja com todos os seus detalhes. Também é possível observar o desenho sob vários pontos, sendo possível realizar zoom, ver o objeto em perspectiva, suas projeções, a visão do usuário, etc..

O modelamento humano segue a mesma estrutura apresentada no Capítulo III, onde são solicitadas as características do usuário para permitir o seu modelamento pelo sistema.

Para a efetivação da análise, são reunidos o modelamento do objeto com o modelamento do produto. Neste ponto o projetista indica que postura o modelo humano assume e descreve a tarefa que será realizada. Nesta etapa o sistema verifica todas as condições relativas ao aspecto ergonômico : análise de alcance, análise de visibilidade, esforço muscular, posturas inadequadas, etc..

Referências Bibliográficas

BAUM, Eckart - *Motografie I*. Dortmund : Wirtschaftsverlag, 1980.

_____ - *Motografie II*. Dortmund : Wirtschaftsverlag, 1983.

BERNS, Tomas A. - The integration of ergonomics into design - A review. *Behaviour and Information Technology*, v.3, n.4, pp 277-283, 1984.

BURGESS, John H. - *Designing for Humans : the human factor in engineering*. Princeton : Petrocelli, 1986.

CALVERT, T. W.; CHAPMAN, J.; PATLA, A. - Aspects of the kinematic simulation of human movement. *IEE Computer Graphics and Applications*, v.2, n.9, pp 41-50, 1982.

CASE, Keith; BONNEY, Maurice C.; PORTER, J. Mark - Computer graphics standards for man modelling. *Computer-aided Design*, v.23, n.4, pp 257-268, 1991.

CHAPANIS, A. - *Human Engineering*. Baltimore : Ed. John Hopkins, 1960.

COBO, Guillermo V. Alvarado - *Estudo para Incorporação da Ergonomia no Processo de Planejamento e Desenvolvimento de Produtos : Caso de Empresa Fabricante de Bens de Consumo Duráveis*. Florianópolis : UFSC, 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção., Universidade Federal de Santa Catarina, 1994.

CUSHMAN, William H.; ROSENBERG, Daniel J. - *Human Factors in Product Design*. Amsterdam : Elsevier Science Publishers B.V., 1ª ed., 1991.

FERNANDEZ, Jeffrey E.; MARLEY, Robert J.; EYADA, Osama A. - ErgoCAD : an ergonomic cad system. *Computers Ind Engng*, v.18, n.3, pp 313-318, 1990.

- FITTS, P. M. - Functions of men in complex systems. *Aerospace Engineering*, v.21, n.1, pp 34-39, 1962.
- GOULD, John D.; LEWIS, Clayton - Designing for usability : key principles and what designers think. *Communications of the ACM*, v.28, n.3, pp 300-311, 1985.
- GRANDJEAN, E. - *Fitting the Task to the Man : an ergonomic approach*. Londres : Taylor-Francis, 1980.
- JORDAN, N. - Allocation of functions between man and machines in automated systems. *Journal of Applied Psychology*, v.47, n.3, pp 161-165, 1963.
- KLINE, Paul B.; McALINDON, Peter J. - A human factors tool kit. In : Human Factors Society 36th Annual Meeting, 1992, Santa Monica-CA. *Anais*. pp 568-571.
- MEISTER, David - *Human Factors : Theory and Practice*. New York : Wiley, 1971.
- _____ - *Behavioral Analysis and Measurement Methods*. New York : Wiley, 1985.
- MORO, Francisco Batista Pereira - Estudo conceitual de um banco de dados ergonômico para uso em projeto de produtos com o auxílio de um manequim 3D. In: 2º Congresso Latino-Americano e 6º Seminário Brasileiro de Ergonomia, 1993, Florianópolis. *Anais*. pp 399-401.
- NOWAK, E. - Two-dimensional manikins of children-models for design. *Applied Ergonomics*, v.20, n.2, pp 136-139, 1989.
- PAHL, G; BEITZ, W. - *Engineering Design : a systematic approach*. Londres : The Design Council, 1988.
- ROEBUCK Jr.; J. A.; KROEMER, K. H. E.; THOMSON, W. G. - *Engineering Antropometry Methods*. Wiley Series in Human Factors. New York : John Wiley & Sons Inc., 1975.

- ROGERS, Jon G.; ARMSTRONG, Richard - Use of human engineering standards in design. *Human Factors*, v. 19, n. 1, pp 15-23, 1977.
- ROTH, Karlheinz - *Konstruieren mit Konstruktionskatalogen*. Berlim : Springer-Verlag, 1982.
- ROTHWELL, Patricia L., HICKEY, Dianne T. - Three-dimensional computer models of man. In : Human Factors Society 30th Annual Meeting, 1986, Santa Monica-CA. *Anais*. pp 216-220.
- ROUSE, William B.; CODY, William J.; FREY, Paul R. - Lessons learned in developing human-machine system design tools. *Information and Decision Technologies*, v.18, n.5, pp 301-308, 1992.
- SANDERS, Mark S.; McCORMICK, Ernest J. - *Human Factors in Engineering and Design*. New York : McGraw-Hill Book Company, 6^a ed, 1987.
- SAMUELSON, B.; WANGENHEIM, M.; WOS, H. - A device for three-dimensional registration of human movement. *Ergonomics*, v. 30, n. 12, pp 1655-1670, 1987.
- SARIC, Ivan - System ergonomics as an integrated part of the product development process. *Ergonomics*, v.22, n.9, pp 1029-1038, 1979.
- SELL, Ingeborg - *Umsetzung ergonomischer Erkenntnisse in der Produktplanung und realisierung : Methodik und Hilfsmittel*. Düsseldorf : VDI-Verlag, 1988.
- _____ - Projeto ergonômico de produtos. In : IV Seminário Brasileiro de Ergonomia, 1989, Rio de Janeiro. *Anais*, pp 172-176.
- ULLMAN, David G. - *The Mechanical Design Process*. New York : McGraw-Hill, 1992.
- WOODSON, Wesley E.; CONOVER, Donald W. - *Human Engineering Guide for Equipment Designers*. Los Angeles : University of California, 1964.

Bibliografia

- BACX, Hugo Borges - O modelo no projeto do produto : uma proposta para classificação de modelos tridimensionais. *Estudos em Design*, v.2, n.1, 1994.
- BASILIO, Patricia M. A.; CUIABANO, Ana M. S. C.; PASTURA, Flavia C. H. - Desenvolvimento de um banco de dados antropométricos. In : 2º Congresso Latino-Americano e 6º Seminário Brasileiro de Ergonomia, 1993, Florianópolis. *Anais*. pp 396-398.
- BUCKLE, P.W.; STUBBS, D.A.; RANDLE, I.P.M.; NICHOLSON, A.S. - Limitations in the application of materials handling guidelines. *Ergonomics*, v.35, n.9, pp 955-964, 1992.
- BULLINGER, H. J.; SOLF, J. J. - *Ergonomische Arbeitsmittelgestaltung*. Vol. I, II e III. Bremerhaven : Wirtschafstverlag, 1979.
- BUUR, Jacob; NIELSEN, Pi - Design for usability : adopting human computer interaction methods for the design of mechanical products. In : International Conference on Engineering Design - ICED '95, 1995, Praha. *Anais*. pp 952-957.
- CASE, Keith; BONNEY, Maurice C.; PORTER, J. Mark - SAMMIE : a computer aided design tool for ergonomists. In : Human Factors Society 30th Annual Meeting, 1986, Santa Monica-CA. *Anais*. pp 694-698.
- DIAZ, Eileen; ASFOUR, Shihab; KHALIL, Tarek; ABDEL-MOTY, Elsayed - Integrating human factors/ergonomics in facilitating the design/analysis of consumer products : a computerized knowledge-base system. In : Human Factors Society 34th Annual Meeting, 1990, Santa Monica-CA. *Anais*. pp 444-447.
- DOWNTON, A.C. - Engineering the man-machine interface. *Electronics & Power*, v.33, n.11, pp 691-694, 1987.

- EYADA, Osama K.; FERNANDEZ, Jeffrey E.; MARLEY, Robert J.; DeGREVE, Thomas B. - Human-machine modeling with AutoCAD. *Trends in Ergonomics/Human Factors V*, pp 71-75, 1988.
- GILFOIL, D.; MAURO, C. L. - Integrating human factors and design : matching human factors methods up to product development. In : Proc. Human Factors and Industrial Design in Consumer Products, 1980, Medford-MA. *Anais*. pp 1-8. -
- GILLAN, Douglas J.; BIAS, Randolph G. - The interface between human factors and design. In : Human Factors Society 36th Annual Meeting, 1992, Santa Monica-CA. *Anais*. pp 443-447.
- HARTLEY, Craig S.; RICE, John R. - Five Macintosh tools for human factors engineering. In : Human Factors Society 31st Annual Meeting, 1987, Santa Monica-CA. *Anais*. pp 1306-1310.
- HASLEGRAVE, Christine M.; HOLMES, Keith - Integrating ergonomics and engineering in technical design process. *Applied Ergonomics*, v.25, n.4, pp 211-220, 1994.
- HAUBNER, Peter J. - Ergonomics in industrial product design. *Ergonomics*, v.33, n.4, pp 477-485, 1990.
- HOEKSTRA, P. N. - Computer aided anthropometric assessment : "seeing what you are doing". In : International Conference on Engineering Design - ICED '93, 1993, Hague. *Anais*. pp 1213-1220.
- _____ - Levels of validity in computer aided anthropometric assessment. In : International Ergonomics Association World Conference, 1995, Rio de Janeiro. *Anais*. pp 77-80.
- KANIS, H.; WEEGELS, M.F. - Research into accidents as a design tool. *Ergonomics*, v.33, n.4, pp 439-445, 1990.
- KIRCHNER, J. H. - Verhindern von Unfällen beim Rangieren durch Massnahmen der ergonomischen Gestaltung. *Sicherheitsingenieur*, n.9, pp 28-39, 1980 .

- LEPPÄNEN, Markku; MATTILA, Markku - Including ergonomics in computer aided design with a 3-D man model. *Trends in ergonomics / Human Factors IV (Part B)*. S.S. Asfour (ed.). Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland), 1987, pp 769-775.
- LOMBAERS, J.H.M. - Supermarketing ergonomics. *Ergonomics*, v.33, n.5, pp 541-545, 1990.
- MEISTER, David - The role of human factors in system development. *Applied Ergonomics*, v.13, n.2, pp 119-124, 1982.
- MITCHELL, John - User requirements and the development of products which are suitable for the broad spectrum of user capacities. *Ergonomics*, v.24, n.11, pp 863-869, 1981.
- MUNIPOV, V. M. - Ergonomics as a factor in social and economic development. *Ergonomics*, v.22, n.6, pp 607 - 611, 1979.
- _____ - The Development of the scientific basis of ergonomics norms and requirements. *Applied Ergonomics*, v.15, n.3, pp 179-183, 1984.
- OKEY, R. E.; SUFELL, C.; BLOUNT, G. N. - Initial work on a system-independent computer model of a 3D anthropomorphic dummy. *Computer-aided Design*, v.21, n.6, 1989, pp 393-403.
- PENNA KEHL, S. A. - Engenharia humana : um exemplo de metodologia de levantamento, análise e solução de problemas ergonômicos. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, v29, n8, 1980, pp 7-21.
- PERMENTER, Kathryn E.; FLEGER, Stephen A.; MALONE, Thomas B. - Advanced human factors engineering tool technologies. In : Human Factors Society 31st Annual Meeting, 1987, Santa Monica-CA. *Anais*. pp 345-349.
- PIKAAR, R.N. ; LENIOR, T.M.J.; RIJNSDORP, J.E. - Implementation of ergonomics in design practice : outline of an approach and some discussion points. *Ergonomics*, v.3, n.5, pp 583-587, 1990.

- PORTER, J. Mark - The ergonomics development of the Fiat Punto. In : International Ergonomics Association World Conference, 1995, Rio de Janeiro. *Anais*, pp 73-76.
- ROUSSEL, Benoit; LE COQ, Marc - Designer end ergonomist : towards a better coloboration. In : International Conference on Engineering Design - ICED '95, 1995, Praha. *Anais*, pp 946-951.
- ROUSE, William B.; CODY, William J.; FREY, Paul R. - Information system for design support : An approach for establishing functional requirements. *Information and Decision Technologies*, v.15, n.4, pp 281-289, 1989.
- SELL, Ingeborg - A importância de requisitos ergonômicos no desenvolvimento de produtos. In : IV Seminário Brasileiro de Ergonomia, 1989, Rio de Janeiro. *Anais*, pp 51-56.
- _____ - A distribuição de funções entre homem e máquina no desenvolvimento de produtos. In : IV Seminário Brasileiro de Ergonomia, 1989, Rio de Janeiro . *Anais*, pp 193-198.
- SCHAFFRINA, Jörg - Interrelations of industrial design, ergonomics and the user. *IEE Journal on Selected Areas in Communications*, v.9, n.4, pp 501-505, May 1991.
- SIEGEL, Arthur I.; WOLF, J. Jay - *Man-machine simulation models*. New York : Wiley-interscience, 1969.
- THOMAS, D.B.; DZIAMBOR, G.; BOHR-BRUCKMAYR, E. - Ergonomics in product testing. *Ergonomics*, v.33, n.4, pp 453-458, 1990.
- TOPMILLER, Donald A.; AUME, Nilss M. - Human engineering computer aided design. In : Human Factors Society 16th Annual Meeting, 1972, Santa Monica-CA. *Anais*. pp 315-317.
- _____ - Computer-graphic design for human performance. In : Annual Reliability and Maintainability Symposium, 1978, Los Angeles. *Anais*. pp 385-388.